١٠



حكومة إقليم كوردستان ـ العراق
وزارة التربية ـ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات

## العلــوم للجميــع

# الفيزياء

## كتاب الطالب - الصف العاشر العلمي

الطبعة الثامنة
٢٠١٦م/ ٢٧١٦ كوردي/ ١٤٣٧هـ

الأشراف الفني على الطبع
عثمان پيرداود كواز
آمانج اسماعيل عبدي

# رموزٌ بيانيَّةٌ

أُدرجتِ المعلوماتُ في الجدولِ التالي بحسبِ ترتيبِها في كتابِ الطالبِ للمرحلةِ الثانويَّةِ.

## الميكانيكا

| الرمز | الدلالة |
|---|---|
| | متَّجهُ الإزاحةِ |
| | مركَّبةُ الإزاحةِ |
| | متَّجهُ السرعةِ |
| | مركَّبةُ السرعةِ |
| | متَّجهُ التعجيلِ |
| | متَّجهُ القوّةِ |
| | مركَّبةُ القوّةِ |
| | متجهُ كمّيَّةِ الحركةِ |
| | الزاوية |
| | اتِّجاهُ الدورانِ |

## الديناميكا الحراريَّةُ

| الرمز | الدلالة |
|---|---|
| | الطاقةُ المتحوِّلةُ إلى حرارةٍ |
| | الطاقةُ المتحوِّلةُ إلى شغلٍ |
| | الدورةُ أو العمليَّةُ |

## الموجاتُ والكهرومغنطيسيَّةُ

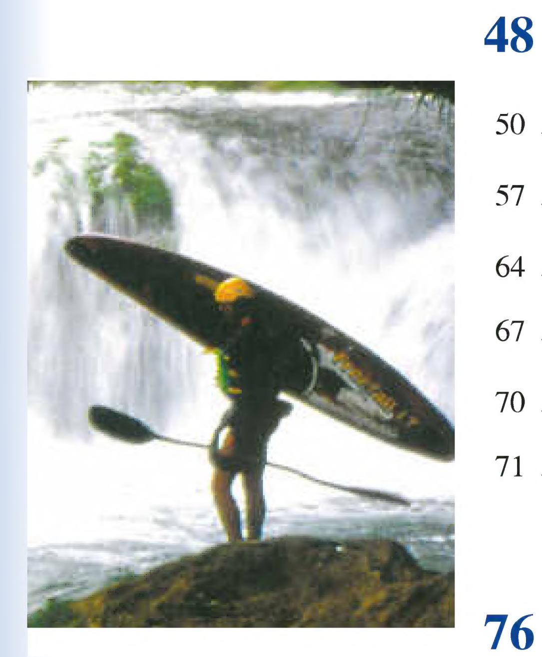
| الرمز | الدلالة |
|---|---|
| | شعاع (ضوء أو صوت) |
| | الشحنةُ الموجبةُ |
| | الشحنةُ السالبةُ |
| | خطوطُ المجالِ الكهربائيِّ |
| | متَّجهُ المجالِ الكهربائيِّ |
| | التيّارُ الكهربائيُّ |
| | خطوطُ المجالِ المغناطيسيِّ |
| | متَّجهُ المجالِ المغناطيسيِّ |
| | إلى داخلِ الصفحةِ |
| | إلى خارجِ الصفحةِ |



# المحتويات





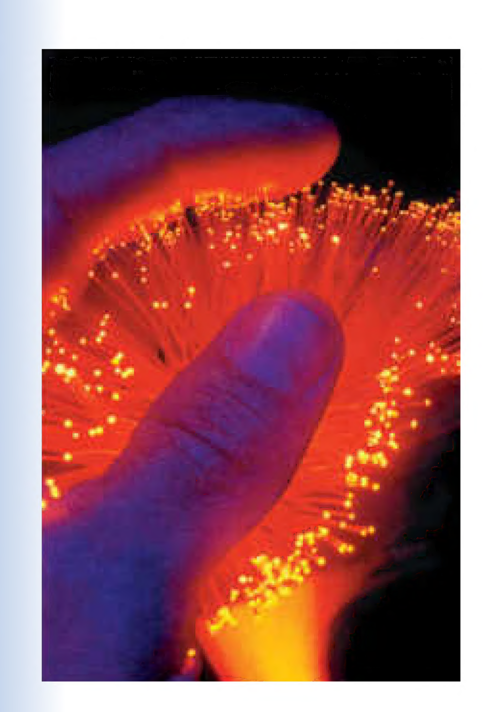


## 3 ميكانيكا الموائع 48



## 4 الحرارةُ 76



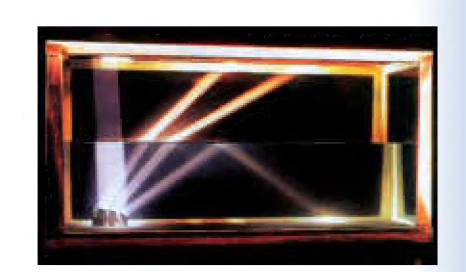


# 5 الضوءُ والانعكاس 110



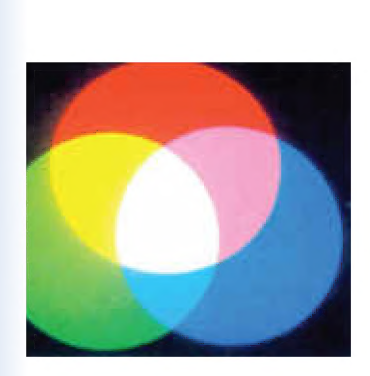


# 6 الانكسار 142

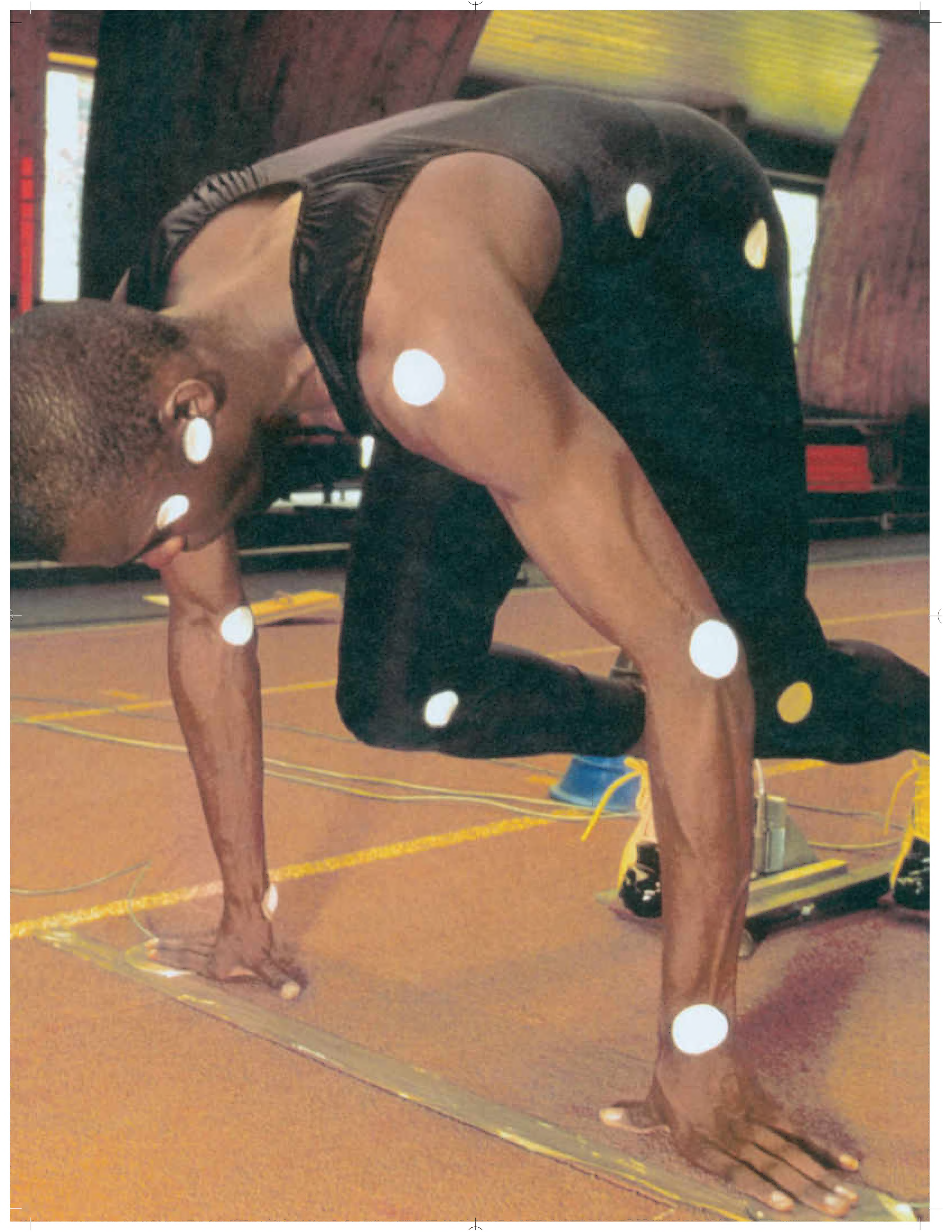


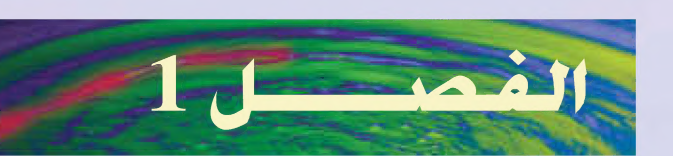
## 7 اللونُ والاستقطاب 174



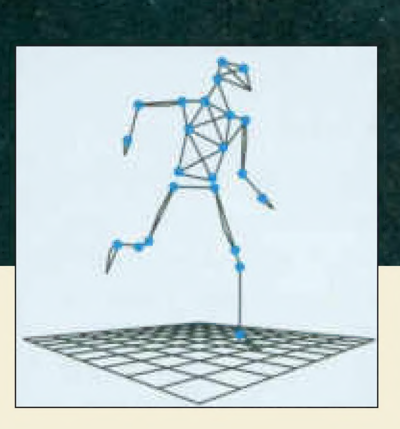


## قسمُ الملاحق 189



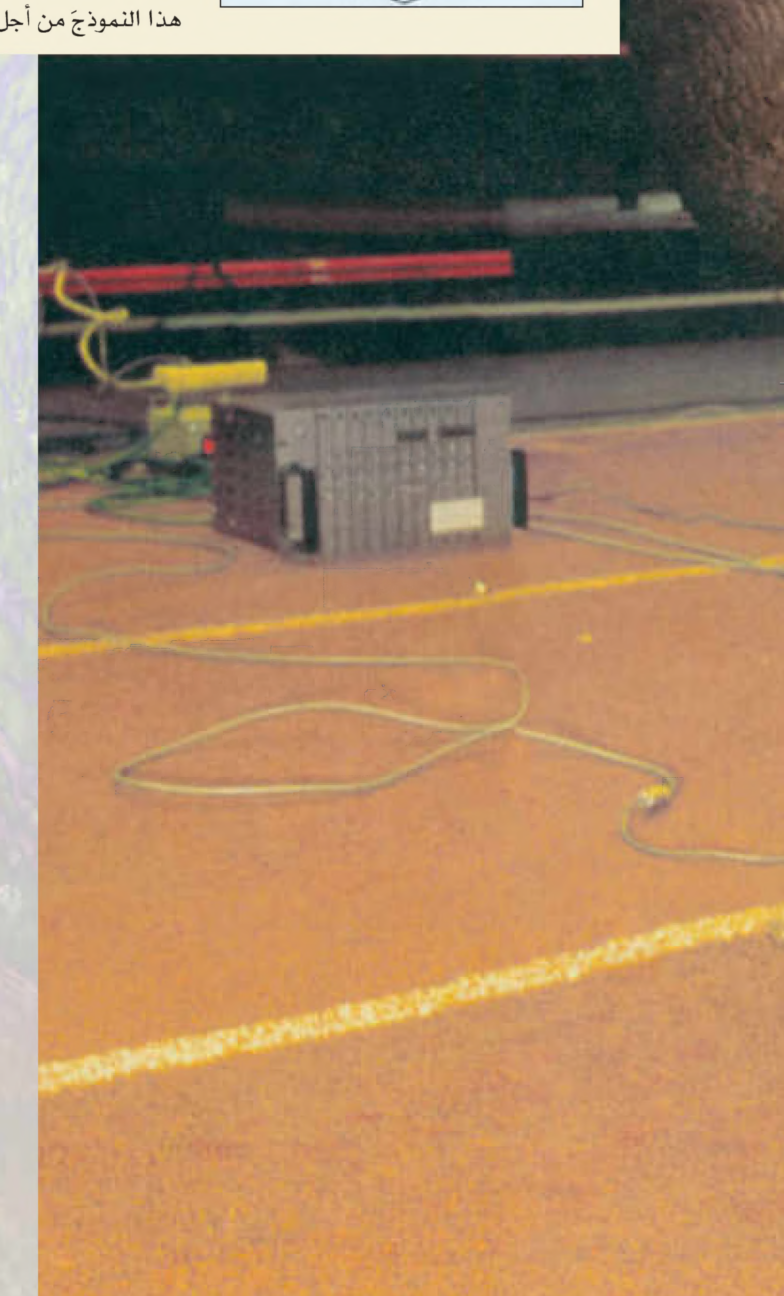


# الفصل 1



# علمُ الفيزياء
## *The Science of Physics*

يشاركُ العدّاءُ الظاهرُ في الصورةِ في أحدِ السباقاتِ العالميَّةِ. يتمُّ تصويرُ العدّاءِ بوساطةِ كاميرةِ فيديو، بينَما توضعُ لواصقُ بيضاءُ عاكسةٌ في مناطقَ مختلفةٍ من جسمِه. تُساعدُ هذه اللواصقُ الباحثينَ في استعمالِ فيلمِ الفيديو، لوضعِ نموذجٍ حاسوبيٍّ مشابهٍ للشكلِ المجاورِ. يستعملُ الباحثون هذا النموذجَ من أجلِ تحليلِ تقنيّاتِ العدّاءِ ومساعدتِه على تحسينِ أدائِه.



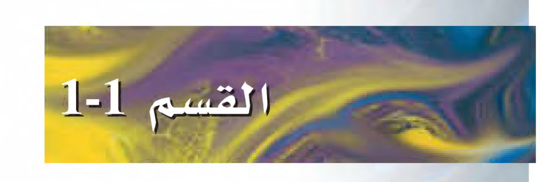
## ما يُتوقعُ تحقيقُهُ

ستتعرَّفُ في هذا الفصلِ على فروعِ الفيزياءِ وخُطواتِ المنهجِ العلميِّ، واستخدامِ النماذجِ في الفيزياء. كما ستتعلَّمُ أيضًا بعضَ الطّرائقِ المفيدةِ للتعاملِ مع القياساتِ والبياناتِ.

## ما أهميَّتُهُ

يطوِّرُ علمُ الفيزياءِ الكثيرَ من النماذجِ المهمَّةِ لوصفِ الكثيرِ من الظواهرِ في العالمِ الفيزيائيِّ، بما فيها حركةُ العدّاءِ في حصَّةٍ تدريبيَّةٍ.

## محتوى الفصل 1




# ما هوَ علمُ الفيزياءِ؟
## *What is Physics?*

### 1-1 مؤشّراتُ الأداء

- يحدّدُ الأنشطةَ والمجالاتِ الرئيسةَ التي يتناولُها علمُ الفيزياء.
- يصفُ عملياتِ المنهجِ العلميّ.
- يصفُ دورَ النماذج والمخطّطاتِ البيانيةِ في علمِ الفيزياء.

## الفيزياءُ في كلِّ مكان

مبادئُ الفيزياءِ موجودةٌ حولَنا وفي حياتِنا اليومية. في الواقعِ يعرفُ معظمُ الناسِ من علمِ الفيزياءِ أكثرَ مما يعتقدون. إنَّ معظمَ الأبنيةِ والاختراعاتِ والأدواتِ والأجهزةِ التي نستعملُها، لَمّا وُجدت لولا تطبيقُ مبادئِ الفيزياء. فأنتَ حين تشتري المثلّجاتِ تعودُ بها إلى البيتِ وتضعُها في الثّلاّجةِ، لأنكَ تعرفُ من الفيزياءِ أن المثلجاتِ ستتلفُ إذا وضعتَها على الطاولةِ وانصهرَت.

وأنتَ حينَ تخطو أو تلتقطُ الكرةَ أو تفتحُ البابَ أو تنظرُ إلى صورتِكَ في المرآةِ فإنكَ تستخدمُ من دونِ قصدٍ ما تعرفُهُ من علمِ الفيزياء.

## موضوعاتُ الفيزياء

سهّلَ علينا علماءُ الفيزياءِ استعمالَ مبادئِ الفيزياءِ حينَ صنّفوا الموضوعاتِ في مجالات. يبيّنُ **الشكلُ 1-1** كيف تُستعملُ مجالاتُ علمِ الفيزياءِ المختلفةُ في صنعِ السيارةِ وتشغيلِها.

**الشكل 1-1**

من المستحيل صنعُ السيارةِ من دونِ معرفةِ مجالاتٍ متعددةٍ من الفيزياء.



يتضمّنُ **الجدولُ 1-1**، أدناه، بعضَ المجالاتِ الرئيسةِ في علمِ الفيزياءِ وأمثلةً على كلٍّ منها. يشكِّلُ تصميمُ المراكبِ الشراعيةِ وتشغيلُها مثالاً عمليًّا لمعرفةِ مبادئِ الفيزياء. يخطِّطُ المصمّمونَ الشكلَ الأفضلَ كي يطفوَ المركبُ ويبقى متوازنًا على سطحِ الماءِ ويتحركَ بسرعةٍ وبأقلّ مقاومة.

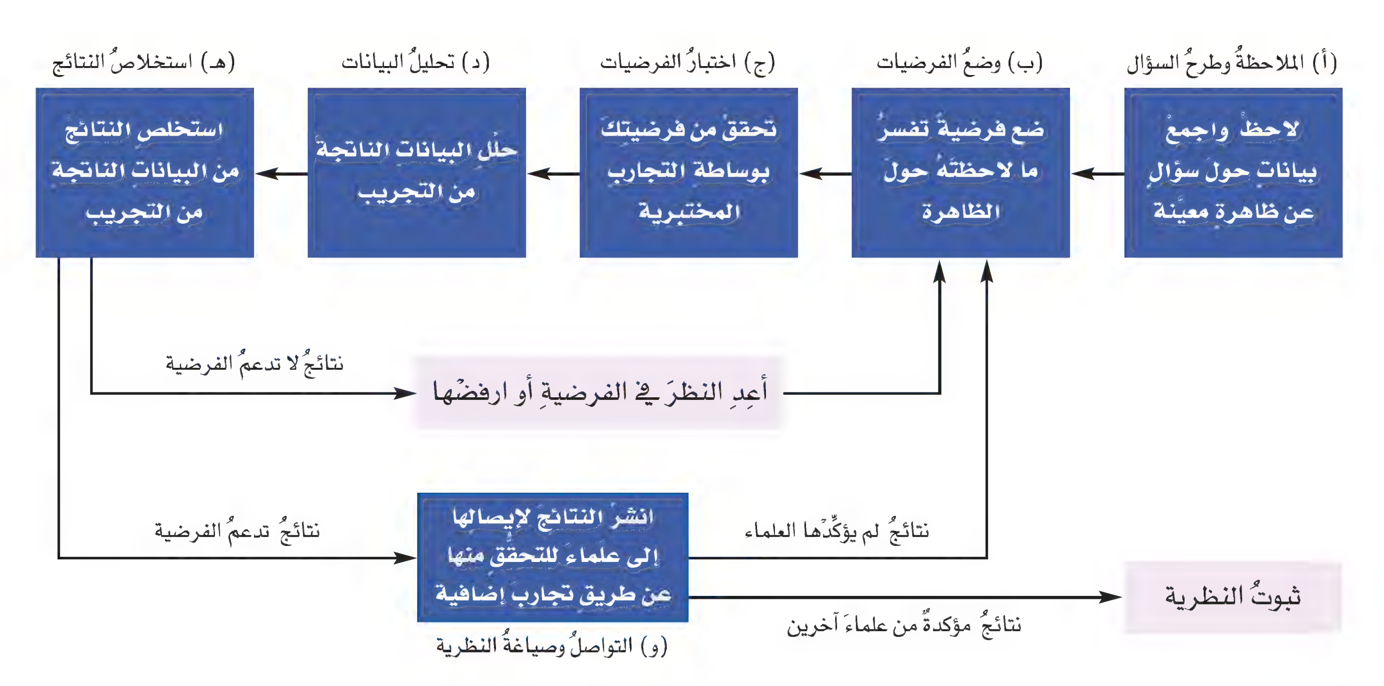
يحتاجُ هذا التخطيطُ إلى معرفةٍ في مجالِ فيزياءِ الموائع، كما يحتاجُ تحديدُ أشكالِ الأشرعةِ ذاتِ كفاءةِ التشغيلِ العاليةِ وكيفيةُ نصبِها، إلى معرفةٍ في مجالِ علمِ الحركةِ وأسبابِها. أما بناءُ مركبٍ متوازنٍ فيحتاجُ إلى معرفةٍ في مجالِ الميكانيكا.

## هل تعلم؟

كلمةُ *«فيزياء»* اشتُقَّتْ من الكلمةِ اليونانيةِ القديمةِ (فيزيق) التي تعني الطبيعة. والفيزياءُ تبعًا لأرسطو، دراسةُ الظواهرِ الطبيعية. يعتقدُ أرسطو أنَّ دراسةَ الحركةِ تشكِّلُ أساسًا لعلمِ الفيزياءِ، إلا أنهُ استبعدَ أيَّ دورٍ للرياضيات. أما غاليليو فلم يوافقْهُ الرأيَ، بل ساهم لاحقًا، مستعملاً الرياضياتِ، في تطويرِ أسسِ علمِ الحركةِ الحديث، ونشرَ دراستَهُ الأولى عن الحركةِ في العامِ 1632.

**الجدول 1-1 مجالاتٌ في علمِ الفيزياء**

| الاسم | الموضوع | أمثلة |
|---|---|---|
| الميكانيكا | الحركةُ وأسبابُها | السقوطُ الحرُّ للأجسام، قوةُ الاحتكاك، الوزن، الأجسامُ التي تدورُ حولَ محورها |
| الديناميكا الحرارية | الحرارةُ ودرجةُ الحرارة | الانصهارُ والتجمُّد، المحرِّكات، الثلاجات |
| الاهتزازاتُ والظواهرُ الموجيَّة | أنماطٌ خاصةٌ من الحركاتِ المتكرِّرة | النابض، البندول، الصوت |
| البصريات | الضوء | المرايا، العدسات، اللون، علمُ الفلك |
| الكهرومغنطيسية | الكهرباء، المغناطيسية، الضوء | الشحنةُ الكهربائية، الدوائرُ الكهربائية، المغانطُ الدائمة، المغانطُ الكهربائية |
| النسبية | الجُسَيْماتُ المتحرِّكة بأيِّ سرعة، ومنها السرعُ العاليةُ جدًّا | تصادمُ الجسيمات، معجلاتُ الجسيمات، الطاقةُ النووية |
| ميكانيكا الكم | سلوكُ الجُسيماتِ الدقيقة | الذرّةُ وأجزاؤها (بنية الذرّة) |




**الشكل 1-2**
مخطَّط المنهج العلمي



**الشكل 1-3**
تتطلبُ دراسةُ حركةِ الكرةِ ملاحظةَ الكرةِ وما يحيطُ بها خلال حركتِها وما يؤثرُ فيها.

## المنهجُ العلميّ

بمَ يتميَّز علمُ الفيزياء؟ يتميَّزُ علمُ الفيزياءِ بالموضوعاتِ التي يدرُسُها **الجدول 1-1**، **وبالمنهجِ العلميِّ** scientific method (**الشكل 1-2**) التابع له في تفسيرِ الظواهرِ الطبيعية. قد يحصُلُ التطوُّرُ العلميُّ، أحيانًا، عن طريقِ اكتشافاتٍ تأتي بالمصادفة. غيرَ أنَّ التطوُّرَ العلميَّ بمجملِهِ أحرزَ تقدمًا نتيجةَ القيامِ بأبحاثٍ خُطِّط لها بعنايةٍ، واستعملَ فيها الباحثونَ الطريقةَ المسمّاةَ المنهجَ العلميّ.

هذهِ الطريقةُ تتمُّ بوساطةِ المقاربةِ المنطقيةِ لحلِّ المشكلاتِ من خلالِ الملاحظةِ وجمعِ البياناتِ ثم صياغةِ الفرضياتِ واختبارِها ووضعِ النظرياتِ المدعومةِ بالبيانات. سنحاولُ معًا استعراضَ كلِّ خطوةٍ من خطواتِ المنهجِ العلميِّ الموضَّحِ في **الشكل 1-2**.

### خطواتُ المنهجِ العلميّ

#### أولاً: الملاحظةُ وطرحُ السؤال

الملاحظةُ هي استعمالُ الحواسِّ في جمعِ المعلومات. وهي تتضمنُ القيامَ بقياساتٍ وجمعَ البياناتِ الوصفيةِ أو الكمِّية. لاستخلاصِ الملاحظاتِ وجمعِ البياناتِ أخذَ الفيزيائيونَ يتأمَّلونَ الأنظمةَ ويدرسونَها.

**فالنظامُ** system جزءٌ معيَّنٌ من المجالِ المدروسِ بوساطةِ عمليةِ الملاحظة. فدراسةُ حركةِ الكرةِ الظاهرةِ في **الشكل 1-3** تتطلَّبُ في البدايةِ ملاحظةَ الكرةِ وما يحيطُ بها

**المنهجُ العلمي**
طريقةٌ منهجيةٌ لدراسةِ الظواهرِ الطبيعية.

**النظام**
جزءٌ معيَّنٌ من المجالِ المدروسِ بوساطةِ عمليةِ الملاحظة.

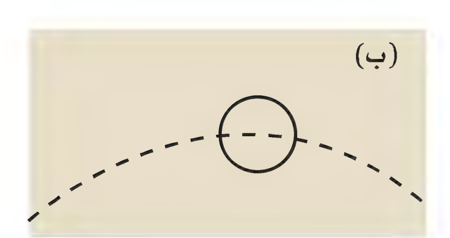
خلالَ حركتِها وما يؤثرُ فيها. والسؤالُ الذي يُطرحُ عندئذٍ قد يتناولُ مسبِّباتِ حركةِ الكرةِ أو مسارَها أو سرعتَها بِغَضِّ النظرِ عن كلِّ معلومةٍ تتعلَّقُ بما يحيطُ بالكرةِ ولا يؤثرُ في حركتِها كلونِها أو صوتِ ارتطامِها بالأرض.

بعد تحديدِ النظام، يبدأُ عالِمُ الفيزياءِ دراستَهُ بابتكارِ **نموذج** model بسيطٍ للنظامِ يمكنُ إخضاعُهُ للدراسةِ وفقًا للمنهجِ العلميِّ كما في **الشكل 1-4** لمثالِ الكرة.

**النموذج**

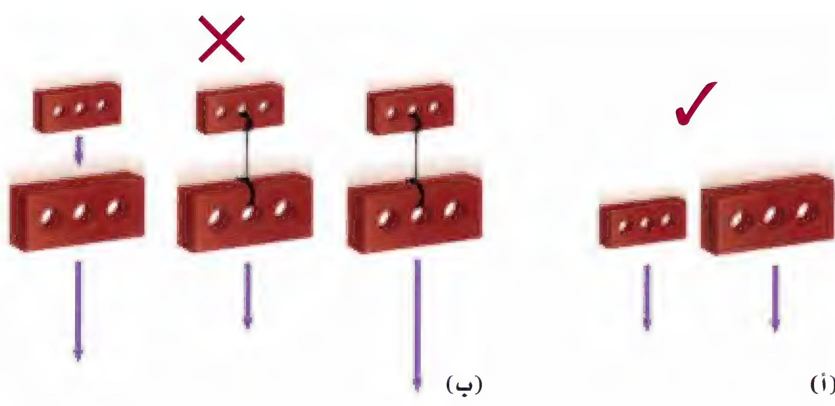
تصوُّرٌ مبسَّطٌ للنظامِ المدروسِ تظهرُ فيه العواملُ المؤثرةُ في الظاهرة.




**الشكل 1-4**
لتحليلِ حركةِ كرةِ السلَّة،
(أ) اعزِلِ الأشياءَ التي تؤثِّرُ في حركتِها لاحقًا.
(ب) ارسُمْ مخطَّطًا يتناولُ مسارَ الحركةِ فقط.

قد لا تكونُ الملاحظةُ بصريةً بل ذهنية. لقد تخيَّلَ غاليليو في تجربتِهِ الذهنيةِ جسمينِ متماثلينِ تُركا يسقطانِ في اللحظةِ نفسِها ومن الارتفاعِ نفسِه، مما دفعهُ إلى الاعتقادِ بأنَّ الجسمينِ يسقطانِ بالسرعةِ نفسِها. هذا يتناقضُ مع ما كانَ يعتقدُهُ العلماءُ قبلَ غاليليو. ثم تَخيَّلَ غاليليو الجسمَينِ مربوطينِ معًا وهما يسقطان، وابتكرَ لذلكَ نموذجًا بسيطًا للنظامِ المكوَّنِ من الجسمَينِ والقوى المؤثرةِ فيهما (**الشكل 1-5**).




ما يحدث: تسقطُ الأجسامُ الثقيلةُ بالسرعةِ نفسِها التي تسقطُ بها الأجسامُ الخفيفة.

ما لا يحدث: لا تسقطُ الأجسامُ الثقيلةُ بسرعةٍ أكبرَ من سرعةِ سقوطِ الأجسامِ الخفيفة.

**الشكل 1-5**
استعملَ غاليليو التجربةَ الذهنيةَ المبيَّنةَ في هذا المخطط ليسأل: هل تسقطُ الأجسامُ الثقيلةُ والخفيفةُ بالسرعةِ نفسِها؟

### ثانيًا: وضعُ الفرضيات

يحاولُ العلماءُ، عندَ قيامِهِمْ بدراسةِ البياناتِ الناتجةِ من ملاحظاتِهِم وتجاربِهِمْ الشخصيةِ ومقارنتِها، استخلاصَ علاقاتٍ تشكِّلُ أساسًا للمنهجِ العلميّ. فالفرضيةُ العلميةُ هي تفسيرٌ منطقيٌّ ومعقولٌ للواقعِ كما تمَّتْ ملاحظتُهُ أو تخيُّلُهُ ذهنيًا.

لنعدْ إلى تجربةِ غاليليو الذهنيةِ التي طوَّر فيها نموذجًا مناسبًا لنظامِ الأجسامِ الساقطةِ بهدفِ تحديدِ المتغيرات، كالكتلةِ أو الشكلِ أو مقاومةِ الهواءِ، وصياغةِ فرضيةٍ تفسِّرُ حركتَها وسرعتَها. إذا كانَ ما اعتقدَهُ العلماءُ صحيحًا، فإنَّ سرعةَ سقوطِ الجسمَين، برأيِ غاليليو، ستزدادُ فجأةً بعد ربطِهِما معًا، وستكونُ هذه السرعةُ أكبرَ من سرعةِ كلٍّ منهما منفصلين، لأنَّ الجسمينِ المربوطينِ معًا يشكلانِ جسمًا واحدًا أثقلَ من أيٍّ منهما. بعدَ هذا التحليلِ الذهنيِّ لحركةِ سقوطِ الأجسامِ ومقارنتِهِ مع ما كانَ يعتقدُهُ العلماءُ آنذاكَ، قامَ غاليليو بصياغةِ فرضيتِهِ التي تنقضُ فرضيةَ العلماء.

في رأيِ غاليليو، لا ينبغي أن يسبِّبَ ربطُ الجسمينِ معًا تغيُّرًا مفاجئًا في السرعةِ، وبالتالي «إنَّ جميعَ الأجسامِ، مهما كانَ ثقلُها، تسقطُ معًا في غيابِ مقاومةِ الهواء».

### ثالثًا: اختبارُ الفرضياتِ وتحليلُ البياناتِ واستخلاصُ النتائج

يتطلبُ اختبارُ الفرضيةِ إجراءَ تجاربَ عدةٍ للتأكدِ من صحتِها. إذا بيَّنَ الاختبارُ عدمَ صحةِ التوقعِ أو الفرضيةِ، لزمَ إعادةُ النظرِ في الفرضية.

أجرى غاليليو عدَّةَ تجاربَ مختبريةٍ لاختبارِ فرضيتِهِ وللتأكدِ من صحّتِها. لاحظَ التغيُّراتِ التي تلحقُ بحركةِ سقوطِ الأجسامِ حين يُغيِّرُ وزنَها ويُبقي المتغيِّراتِ الأخرى ثابتة. قامَ غاليليو، مثلاً، بقياسِ مدةِ السقوطِ من الموقعِ نفسِهِ لأجسامٍ ذاتِ أوزانٍ مختلفةٍ لكنها متساويةٌ في الحجم.

لم تكنْ أجهزةُ القياسِ ذاتَ دقةٍ كافيةٍ نظرًا للسقوطِ السريعِ للأجسامِ ولعدمِ توفُّرِ وسيلةٍ لإزالةِ مقاومةِ الهواء. لذا استعملَ غاليليو كرةً تتدحرجُ على منحدرٍ نحو أسفله كنموذجٍ يمثلُ حركةَ سقوطِ الكرةِ، معتبرًا أنه كلما زادَ انحدارُ السطحِ اقتربَ النموذجُ من الحركةِ الحقيقية. فتوافقتِ البياناتُ التي حصلَ عليها من نتائجِ التجاربِ مع توقعاتِهِ المبنيةِ على فرضيتِه.

وفقًا للمنهجِ العلميِّ ينبغي اختبارُ أيِّ فرضيةٍ عبرَ **تجربةٍ ضابطةٍ controlled experiment**، أيْ يجبُ أن تُغيِّرَ في التجربةِ متغيِّرًا واحدًا وفي آنٍ واحدٍ، لتحددَ مدى تأثيرِ هذا المتغيِّرِ وحدَهُ في الظاهرةِ التي تدرُسُها.

**التجربةُ الضابطة**

التجربةُ التي تتضمنُ دراسةَ متغيِّرٍ أو عاملٍ واحدٍ مع ثباتِ باقي العوامل.

### رابعًا: التواصل وصياغةُ النظرية

إذا دلَّتْ نتائجُ التجاربِ على أنَّ توقعاتِ الفرضيةِ صحيحةٌ يحاولُ العلماءُ عندها صياغةَ النظريةِ التي تفسِّرُ الوقائعَ والظواهرَ بشكلٍ عام. تُعدُّ النظريةُ ناجحةً وقابلةً للنشرِ إذا تمكنتْ من توقُّعِ نتائجِ تجاربَ جديدة. فالفرضياتُ الأفضلُ هي التي تسمحُ بالتوقُّعِ في مواقفَ جديدة. لكن حينَ لا تأتي نتائجُ إحدى التجاربِ داعمةً للفرضية، أي لا تتوافقُ مع ما كانتْ تتوقعُهُ الفرضية، يكررُ العلماءُ هذهِ التجاربَ للتأكدِ من أن النتائجَ لم تكنْ خطأً. في هذه الحالةِ، ينبغي التخلّي عن الفرضيةِ أو إعادةُ النظرِ فيها. لهذا السببِ تُعتبرُ صياغةُ النظريةِ أو الاستنتاجُ الخطوةَ الأخيرةَ والأهمَّ في المنهجِ العلميّ. وتعتبرُ النظريةُ ثابتةً إذا تحقّقَ علماءُ آخرونَ من صحتِها.

## مراجعةُ القسم 1-1

**1.** عدِّد مجالاتِ علمِ الفيزياء.

**2.** حدِّدْ مجالَ الفيزياءِ الأكثرَ ملاءمةً لكلٍّ من الحالاتِ التاليةِ، وفسِّرْ جوابَك.
أ. مباراةٌ في كرةِ القدم
ب. تحضيرُ الطعامِ للعشاء
ج. سماعُ أذانِ المغرب
د. البرق
هـ. وضعُ النظّارةِ الواقيةِ الشمسيّة على العينَيْن في مكانٍ مُشمِس

**3.** ما خطواتُ أيِّ منهجٍ علميّ؟

**4.** أعطِ مثالينِ على الطرائقِ التي يتَّبِعُها علماءُ الفيزياءِ لوضعِ نماذجَ للعالَمِ الطبيعيّ.

**5.** **الفيزياءُ في الحياةِ اليوميّة** حدِّدْ مجالاتِ علمِ الفيزياءِ التي تتضمَّنُها الاختباراتُ التاليةُ التي تعالجُ السبائكَ المعدِنيةَ الخفيفةَ المقترحَ استعمالُها في صنعِ المراكبِ الشراعية:
أ. اختبارُ تأثيراتِ التصادمات على السبيكة.
ب. اختبارُ تأثيراتِ درجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ والمنخفضةِ في السبيكة.
ج. اختبارُ تأثيرِ السبيكةِ في إبرةِ البوصلة.




# القياساتُ في التجارب
# *Measurements in Experiments*

## الأعدادُ كقياسات

يقومُ علماءُ الفيزياءِ بتجاربَ لاختبارِ الفرضياتِ العلمية. يحصلُ العلماءُ خلالَ هذه التجاربِ على أعدادٍ بوساطةِ القياس.

تختلفُ القياساتُ العدديّةُ عن الأرقامِ التي نتعاملُ معها في الرياضيات. فالرقمُ 7 مثلاً يمكنُ استعمالهُ بمفردِهِ في معادلةٍ رياضيةٍ ولا يعدو كونَهُ رقمًا. أما في القياساتِ العلميةِ فالرقمُ 7 قد يكونُ قياسًا لطولٍ أو كتلةٍ أو زمنٍ أو أيِّ شيءٍ آخر. وإذا كانَ الرقمُ قياسًا للطولِ مثلاً فإنَّ الوحدةَ التي استُعملتْ في القياسِ قد تكونُ المترَ أو الكيلومترَ أو حتى السنةَ الضوئية. لا بدَّ إذنْ لكلِّ رقمٍ نحصُلُ عليهِ بوساطةِ القياسِ من أن يمثِّلَ كميةً معيَّنةً وأن تكونَ له وحدةُ قياسٍ محدَّدة.

تتصفُ كلُّ كميةٍ فيزيائيةٍ بقياسٍ معيَّنٍ يسمّى **البُعد** dimension. سنتعامل في الفصولِ اللاحقةِ مع ثلاثةِ أبعادٍ أساسيّةٍ كالطولِ والكتلةِ والزمن، وعدّةِ قياساتٍ أخرى يمكنُ أن تُشتقَّ من هذه الأبعادِ الثلاثةِ الأساسيَّة، مثل الكميّاتِ الفيزيائيَّةِ التالية: القوّة، السرعة، الطاقة، الحجم، التعجيل. ويمكن أن توصفَ بمكوّناتِ الطولِ، الكتلةِ، الزمن. فبُعدُ السرعةِ مثلاً هو المسافةُ على الزمنِ، وبعدُ القوّةِ هو الكتلةُ × الطولِ على مربَّعِ الزمنِ، $F = ma$ (kg•m/s$^2$)، وهكذا ...

### 2-1 مؤشّراتُ الأداء

- يعدّدُ الوحداتِ الأساسيةَ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، ويذكرُ الكمياتِ التي تصفُها.
- يحوِّلُ القياساتِ إلى ترميزٍ علميّ.
- يميِّزُ بينَ الدقةِ والضبط.
- يستعملُ الأرقامَ المعنويةَ في القياسِ والحساب.

**البُعد**

قياسٌ يرمزُ إلى كميةٍ فيزيائيةٍ معيّنة.

**الجدول 2-1 الكمّياتُ الأساسيةُ ووحداتُها في النظامِ الدولي**

| الكمّية | رمزُ الكمّية | اسمُ الوحدة | مختصَرُ الوحدة | تعريفُ المقياس |
|---|---|---|---|---|
| الطول | $l$ | متر | m | طولُ المسارِ الذي يجتازُهُ الضوءُ في الفراغِ خلالَ مدةٍ هي 1/299 792 458 من الثانية. |
| الكتلة | $m$ | كيلوغرام | kg | وحدةُ الكتلةِ قياسًا على كتلةِ كيلوغرامٍ نموذجيّ. |
| الزمن | $t$ | ثانية | s | زمن 9 192 631 770 اهتزازةً للإشعاعِ الناتجِ من انتقالِ إلكترونٍ بينَ مستويينِ ضمنَ حالةِ استقرارِ ذرّةِ السيزيوم Cs-133. |
| درجةُ الحرارة | $T$ | كلفن | K | الجزءُ الذي يعادلُ 1/273.16 من درجةِ حرارةِ النقطةِ الثلاثيةِ للماء. |
| كمية المادة | $n$ | مول | mol | كميةُ المادةِ في نظامٍ يحتوي على عددِ الوحداتِ نفسِهِ الذي يحتوي عليه 0.012 kg منَ الكربون C-12. |
| التيارُ الكهربائي | $I$ | أمبير | A | شدّةُ التيارِ المستمرِّ الذي لو انساب في موصِّلين متوازيينِ لهما طولانِ لا نهائيانِ ومقطعٌ عرضيٌّ دائريٌّ مهمَلٌ وتمَّ وضعهُما في الفراغِ متباعدين على مسافةِ متر، لتكوّنتْ قوّةٌ تساوي $2 \times 10^{-7}$ N في مترٍ من طولِ الموصِّل. |
| شدّةُ الإضاءة | $I_v$ | كاندلا | cd | شدّةُ الإضاءةِ في اتّجاهٍ معيّنٍ لمصدرٍ يعطي أشعةً أحاديةَ اللونِ بتردّدِ $540 \times 10^{12}$ Hz تساوي $\frac{1}{683}$ W لكلِّ Steradian (وحدةِ قياسِ الزاويةِ المجسّمة). |



**الشكل 1-6**
العيارُ الرسميُّ لكتلةِ كيلوغرام هو أُسطوانةٌ من سبيكةِ البلاتين والإيريدوم محفوظةٌ في وعاءٍ محكمِ الإغلاقِ في المكتبِ العالميِّ للأوزانِ والمقاييسِ في مدينةِ سيفر ***Sèvres*** الفرنسية.

يعتمدُ القياسُ العدديُّ لمقدارِ الكميةِ الفيزيائيةِ على الوحدةِ التي قيستْ بها هذه الكمية. فمن الأفضلِ مثلاً قياسُ الأطوالِ الصغيرةِ بالمِلِّيمتر mm، وليسَ بالكيلومتر km أو السنةِ الضوئية.

## النظامُ الدوليُّ للوحدات SI

عُقدَ في العامِ 1960 مؤتمرٌ علميٌّ عامٌّ للأوزانِ والمقاييسِ توافقَ فيه العلماءُ على اعتمادِ نظامٍ موحَّدٍ للقياسِ سُمِّيَ النظامَ الدوليَّ للوحدات، واختصارًا SI.

يشتملُ هذا النظامُ على تعريفٍ دقيقٍ لسبعِ وحداتِ قياسٍ تابعةٍ لسبعِ كمياتٍ فيزيائيةٍ أساسية، هي الطولُ والكتلةُ والزمنُ ودرجةُ الحرارةِ وكميةُ المادةِ والتيارُ الكهربائيُّ وشدَّةُ الإضاءة. وقد صنعَتِ العياراتُ لهذهِ الوحداتِ كالعيارِ الموضّحِ في **الشكل 1-6** للكيلوغرام وهو وحدةُ قياسِ الكتلةِ في النظامِ SI.

يوضّحُ **الجدولُ 1-2** الكمياتِ الفيزيائيةَ الأساسيةَ ورموزَها ووحدةَ قياسِ كلٍّ منها في نظامِ SI. أما باقي الكمياتِ الفيزيائيةِ فيمكنُ اشتقاقُ وحداتِها، في نظامِ SI، من الوحداتِ الأساسيةِ السبعِ الواردةِ في هذا الجدولِ وفقًا للتعريفِ الفيزيائيِّ لكلٍّ من هذه الكميات. إنَّ السرعةَ مثلاً هي حاصلُ قسمةِ المسافةِ على الزمن، لذلكَ تكونُ وحدةُ قياسِها m/s. وكذلكَ فإنَّ وحدةَ قياسِ التعجيل هي $m/s^2$ ووحدةُ قياسِ القوةِ هي $kg•m/s^2$ . هذه الكمياتُ تُسمّى الكمياتِ المشتقةَ أو المتفرّعة، ويمكنُكَ الاطلاعُ على بعضٍ منها في **الجدولِ 1-3**.

## البادئاتُ المتريةُ في النظامِ الدوليّ

يصفُ عالِمُ الفيزياءِ لائحةً واسعةً من الكمياتِ التي تتطلبُ مدًى واسعًا من القياسات. تراوحُ هذهِ القياساتُ بينَ مقاديرَ صغيرةٍ جدًّا، كالمسافةِ بينَ ذراتِ جسمٍ صلبٍ (حوالي 0.000 000 001 m) ومقاديرَ كبيرةٍ جدًّا كالمسافاتِ بينَ النجومِ (حوالي 100 000 000 000 000 000 m). وبما أن من الصعبِ قراءةَ هذهِ الأرقامِ أو التعاملَ معها، فإنَّ من الممكنِ صياغتُها باستعمالِ قوى الرقمِ 10، فتُكتبُ على التوالي $1 \times 10^{-9}$ m و $1 \times 10^{17}$ m.

**الجدول 1-3 بعضُ الكمّياتِ المشتقَّةِ ووحداتُها في النظامِ الدولي**

| الكمّية | رمزُ الكمّية | الوحدة | مختصرُ الوحدة | الاشتقاق |
|---|---|---|---|---|
| المساحة | $A$ | مترٌ مربّع | $m^2$ | طول x عرض |
| الحجم | $V$ | مترٌ مكعّب | $m^3$ | طول x عرض x ارتفاع |
| الكثافة | $\rho$ | كيلوغرامٌ لكلِّ مترٍ مكعّب | $\frac{kg}{m^3}$ | كتلة / حجم |
| السرعة | $v$ | مترٌ لكلِّ ثانية | $\frac{m}{s}$ | مسافة / زمن |
| التعجيل | $a$ | متر لكلِّ مربَّعِ ثانية | $\frac{m}{s^2}$ | سرعة / زمن |
| القوة | $F$ | نيوتن | N | كتلة x تعجيل |
| الطاقة | $E$ | جول | J | القوة x المسافة |



**الشكل 1-7**
يمكنُ التعبيرُ عن كتلة هذه البعوضة بأشكالٍ مختلفة: $1 \times 10^{-5}$ kg أو 0.01 g أو 10 mg.

يتمُّ إدخالُ قوى الرقم 10 في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ مع إلحاقِ بادئاتٍ بالوحدات، حيثُ تدلُّ كلُّ بادئةٍ على إحدى قوى الرقم 10، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 1-7**. وترمزُ البادئاتُ إلى أجزاءِ الوحداتِ أو مضاعفاتِها.

يبيّنُ **الجدول 1-4** معظمَ البادئاتِ المتداوَلةِ ورموزَها. فمثلاً إذا كانَ طولُ ذبابةٍ $5 \times 10^{-3}$ m، فيمكنُ التعبيرُ عنهُ بـ 5 mm. كما يمكنُ التعبيرُ عن بعدِ قمرٍ صناعيٍّ عن الأرضِ بـ 825 km بدلاً من $8.25 \times 10^{5}$ m.

منَ السهلِ تحويلُ بادئةِ الوحدةِ التي تظهرُ في **الجدولِ 1-4** من شكلٍ إلى آخرَ بناءً على عواملِ التحويلِ من وحدةٍ إلى أخرى.

على سبيلِ المثالِ، يمكنُ كتابةُ التحويل: $1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$ على النحوِ التالي:

$$\frac{1 \text{ mm}}{10^{-3} \text{ m}} = 1 \quad \text{أو} \quad \frac{10^{-3} \text{ m}}{1 \text{ mm}} = 1$$

يمكنُكَ الآنَ ضربُ أيِّ قياسٍ بأحدِ هذينِ الكسرينِ (أي بالعدد 1)، فتتغيرُ الوحدةُ بينما تبقى الكميةُ الفيزيائيةُ التي تصفُها هي نفسَها. ولكي تُحَوِّلَ القياساتِ استعملْ عاملَ التحويلِ الذي يسمحُ باختزالِ الوحدةِ التي ترغبُ في تحويلِها والإبقاءِ على الوحدةِ المطلوبة، كما هو موضَّحٌ في المثالِ التالي، والذي يتمُّ فيه تحويلُ القياسِ 37.2 mm إلى المتر (m).

وحداتٌ لا تُختَزَل: ✗

$$37.2 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ mm}}{10^{-3} \text{ m}} = 3.72 \times 10^{4} \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

وحداتٌ تُختَزَل: ✓

$$37.2 \text{ mm} \times \frac{10^{-3} \text{ m}}{1 \text{ mm}} = 3.72 \times 10^{-2} \text{ m}$$

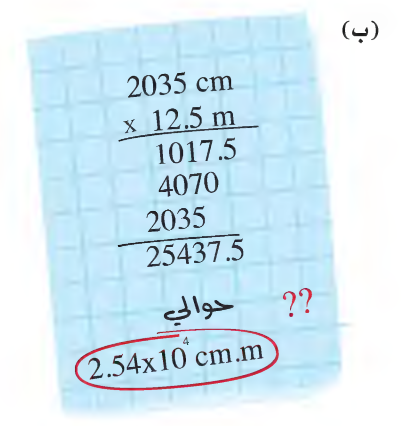
**الجدول 1-4 بعضُ البادئاتِ لقوى العدد 10 المستعملةِ في النظامِ الدوليِّ للوحدات (SI)**

| البادئة | | الرمز | العاملُ الأُسِّيّ | القيمة | مثال (بوحدة القياس المتر) |
|---|---|---|---|---|---|
| تيرا | Tera | T | $10^{12}$ | 1 000 000 000 000 | تيرامتر واحد (Tm) = $1 \times 10^{12}$ متر |
| جيغا | Giga | G | $10^{9}$ | 1 000 000 000 | جيغامتر واحد (Gm) = $1 \times 10^{9}$ متر |
| **ميغا** | **Mega** | **M** | $\mathbf{10^{6}}$ | **1 000 000** | ميغامتر واحد (Mm) = $1 \times 10^{6}$ متر |
| **كيلو** | **Kilo** | **k** | $\mathbf{10^{3}}$ | **1 000** | كيلومتر واحد (km) = 1000 متر |
| هيكتو | Hecto | h | $10^{2}$ | 100 | هيكتومتر واحد (hm) = 100 متر |
| ديكا | Deka | da | $10^{1}$ | 10 | ديكامتر واحد (dam) = 10 متر |
| | | | $\mathbf{10^{0}}$ | **1** | |
| ديسي | Deci | d | $10^{-1}$ | 1/10 | ديسيمتر واحد (dm) = 0.1 متر |
| **سنتي** | **Centi** | **c** | $\mathbf{10^{-2}}$ | **1/100** | سنتيمتر واحد (cm) = 0.01 متر |
| **ملي** | **Milli** | **m** | $\mathbf{10^{-3}}$ | **1/1000** | مليمتر واحد (mm) = 0.001 متر |
| **ميكرو** | **Micro** | $\boldsymbol{\mu}$ | $\mathbf{10^{-6}}$ | **1/1 000 000** | ميكرومتر واحد ($\mu$m) = $1 \times 10^{-6}$ متر |
| نانو | Nano | n | $10^{-9}$ | 1/1 000 000 000 | نانومتر واحد (nm) = $1 \times 10^{-9}$ متر |
| بيكو | Pico | p | $10^{-12}$ | 1/1 000 000 000 000 | بيكومتر واحد (pm) = $1 \times 10^{-12}$ متر |
| فيمتو | Femto | f | $10^{-15}$ | 1/1 000 000 000 000 000 | فيمتومتر واحد (fm) = $1 \times 10^{-15}$ متر |

ملاحظة: لا يُلزَمُ المتعلِّمُ بحفظِ كاملِ هذا الجدولِ، بل يكتفي بالقيمِ المهمةِ والمكتوبةِ بحرفٍ أسودَ سميك.



(أ)




(ب)

(ج)

20.35 m
x 12.5 m
10.175
40.70
203.5
254.375
حوالي
✓
$2.54 \times 10^2 m^2$

**الشكل 8-1**
تُحسبُ المساحةُ بضربِ قياسِ الطولِ في قياسِ العرضِ. تأكدْ من أنَّ هذه القياساتِ قد وُضعتْ بالوحداتِ نفسِها.

## توافقُ البعدِ معَ الوحدات

يجبُ قياسُ الكمياتِ الفيزيائيةِ باستعمالِ وحداتٍ تتوافقُ مع أبعادِ هذهِ الكميات. فمثلاً لا يمكنُ التعبيرُ عن الطولِ بوحدةِ الكيلوغرام، لأنَّ هذه الوحدةَ تصفُ بُعدَ الكتلة. لذلكَ يجبُ التحقّقُ من أنَّ وحدةَ قياسِ أيِّ كميةٍ فيزيائيةٍ تتفقُ مع بُعدِ هذهِ الكمية.

إذا قاسَ عدَّةُ أشخاصٍ، وبشكلٍ منفردٍ، الكمّيةَ الفيزيائيةَ نفسَها، فإنهمْ قد يستعملونَ وحداتِ قياسٍ مختلفةً، لكنْ ذاتَ بعدٍ واحد. لنأخذْ مثلاً **الشكلَ 8-1** (أ) الذي يُظهرُ شخصينِ يقيسانِ أبعادَ غرفةٍ لتحديدِ مساحةِ السجادةِ التي تغطي أرضَها. قد يقيسُ أحدُهُما طولَ الغرفةِ بالأمتارِ، ويقيسُ الآخرُ عرضَها بالسنتيمترات. وحينَ يضربانِ الطولَ في العرضِ يحصُلانِ على جوابٍ بوحدة cm.m، وهو جوابٌ غيرُ صحيحٍ كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 8-1** (ب). أما إذا تمَّ استعمالُ الوحدةِ نفسِها (المتر) في القياسينِ فإننا نحصُلُ على وحدةِ قياسِ المساحةِ وهي المترُ المربّعُ $m^2$ كما يظهرُ في **الشكل 8-1** (ج). لذلكَ علينا تحويلُ الوحداتِ المختلفةِ ذاتِ البعدِ الواحدِ إلى وحدةِ القياسِ نفسِها قبلَ البدءِ بالعملياتِ الحسابية. فمثلاً نحوِّلُ السنتيمتراتِ في المثالِ أعلاه إلى أمتارٍ للحصولِ على مساحةٍ بالمترِ المربّع.

### نشاط عملي سريع
#### البادئاتُ في القياس

**المواد**
- ✓ ميزانٌ يقيسُ حتى 0.01g
- ✓ رزمةٌ من 50 ورقة.

قِسْ وسجِّلْ قياساتِ الكتلِ التاليةِ مستعملاً الوحداتِ والبادئاتِ المناسبة:
- كتلةَ ورقةٍ واحدة
- كتلةَ 10 ورقات
- كتلةَ 50 ورقة

قارنْ نتائجَ قياساتِك لكتلةِ الورقةِ الواحدة.

ما الوحداتُ المختلفةُ لقياسِ الكتلِ السابقة؟

استعملِ النتائجَ لتقدِّرَ كتلةَ 500 ورقة.

برأيِك، ما أفضلُ طريقةٍ لقياسِ كتلةِ الورقة؟ علِّلْ جوابك.

## مثال 1 (أ)

### البادئاتُ المترية

**المسألة**

تبلغُ كتلةُ البكتيريا حوالي **2.0 fg**. كمْ تساوي كتلتُها بالغرام (g)، وبالكيلوغرام (kg)؟

**الحـــل**

**1. أعرِّف**

**المُعْطى:** الكتلة = 2.0 fg

**المجهول:** الكتلة = g؟ الكتلة = kg؟

**2. أخطِّط**

أعتمِدُ عواملَ التحويلِ مستندًا إلى العلاقاتِ المعطاةِ في **الجدولِ 1-4**. يوجدُ عاملانِ للتحويلِ هما:

$$\frac{1 \text{ x } 10^{-15}\text{ g}}{1\text{ fg}} \quad \text{و} \quad \frac{1\text{ fg}}{1 \text{ x } 10^{-15}\text{ g}}$$

**3. أحسب**

وحدةُ العاملِ الأولِ (إلى اليمين) تسمحُ باختزالِ وحدةِ الفمتوغرام (fg) للحصولِ على وَحدةِ الغرام (g).

$$(2.0\text{ fg})\left(\frac{1 \text{ x } 10^{-15}\text{ g}}{1\text{ fg}}\right) = \boxed{2.0 \text{ x } 10^{-15}\text{ g}}$$

أستعملُ هذا الجوابَ وأستعينُ بعمليةٍ مشابهةٍ لاختزالِ وحدةِ الغرامِ (g) وللحصولِ على وَحدةِ الكيلوغرام (kg):

$$(2.0 \text{ x } 10^{-15}\text{ g})\left(\frac{1\text{ kg}}{1 \text{ x } 10^{3}\text{ g}}\right) = \boxed{2.0 \text{ x } 10^{-18}\text{ kg}}$$

## تطبيق 1 (أ)

### البادئاتُ المترية

1. يبلغُ قُطْرُ شعرةِ الإنسانِ حوالي 50 µm. ما مقدارُ هذا القطرِ بالمترِ (m)؟
2. الزمنُ الدوريُّ لإحدى موجاتِ الراديو 1µs. ما مقدارُ الزمنِ الدوريِّ بالثانية (s)؟
3. يبلغُ قطرُ ذرَّةِ الهيدروجين حوالي 10 nm.
   - أ. ما مقدارُ هذا القُطرِ بالمترِ (m)؟
   - ب. ما مقدارُ هذا القُطرِ بالمليمتر (mm)؟
   - ج. ما مقدارُ هذا القطرِ بالميكرومتر (µm)؟
4. تبلغُ المسافةُ بينَ الشمسِ والأرضِ حوالي $1.5 \text{ x } 10^{11}$ m، ما مقدارُ هذهِ المسافةِ بالتيرامتر (Tm)، وبالكيلومتر (km)؟
5. متوسطُ كتلةِ السيارةِ حوالي $1.440 \text{ x } 10^{6}$ g، ما مقدارُ هذهِ الكتلةِ بالكيلوغرام (kg)؟

# الدقّةُ والضبط

تعتمدُ التجاربُ المختبريةُ على قياساتٍ تتطلبُ الدقةَ والتأنّي. لكنْ لا يوجَدُ في الواقعِ قياسٌ خالٍ كليًّا من الخطأ. وكذلك إذا قمنا بقياسِ الكمّيةِ الفيزيائيةِ نفسِها مرّاتٍ عدة، فلا يتحتَّمُ أن تكونَ النتائجُ متطابقةً في كلِّ مرة.

عندما نتكلمُ عن الخطأِ في القياسِ فإننا نقصدُ عاملينِ هما **دقةُ القياس** accuracy **وضبطُه** precision. وعلى الرغم من أنَّ لهذينِ التعبيرينِ المعنى نفسَهُ عندَ عامةِ الناس، فإنَّ لكلٍّ منهما معنًى خاصًّا في اللغةِ العلمية.

**الدقة**

مدى قربِ القيمةِ المقيسة من القيمةِ الحقيقيةِ للكميةِ المرادِ قياسُها.

## الدقةُ والخطأ

تشيرُ الدقةُ إلى تطابقِ أو اقترابِ القيمةِ المقيسةِ من القيمةِ المقبولةِ أو الصحيحة. فكلما كانتْ مجموعةُ القياساتِ المختبريةِ لكميةٍ معيَّنةٍ قريبةً من قيمتِها الحقيقيةِ، كانَ القياسُ «دقيقًا»، والعكسُ صحيح.

أما الضبطُ فيشيرُ إلى درجةِ التقاربِ بينَ نتائجِ مجموعةٍ من القياساتِ المختلفةِ لكميةٍ واحدةٍ، إذا استُعملتْ في قياسِها الطريقةُ نفسُها. تكونُ القياساتُ مضبوطةً إذا تطابقتْ فيما بينَها من دونِ أن تكونَ بالضرورةِ قريبةً من القيمةِ المقبولة.

**الضبط**

درجةُ توافقِ القياساتِ المختلفةِ لكميةٍ معينة.

إذا حصلْنا مثلاً على قياساتٍ عدّةٍ لطولِ كتابٍ معيَّنٍ (طولُه الصحيحُ 20.0 cm)، وكانتْ كما يلي 20.4 cm، 20.1 cm، 19.8 cm، 20.2 cm، 20.3 cm، 19.6 cm، فإنَّنا نقولُ إنَّ القياساتِ دقيقةٌ (لقربِها من القيمةِ الصحيحة)، ولكنَّها ضعيفةُ الضبطِ (لعدمِ تطابقِها فيما بينها). أما إذا حصلْنا على مجموعةِ قياساتٍ مختلفةٍ للكميةِ نفسِها، وكانت 21.0 cm، 21.1 cm، 21.2 cm، فنقولُ إنَّ القياساتِ غيرُ دقيقةٍ (لبعدِها عن القيمةِ الصحيحة)، إلا أنها مضبوطةٌ (لتطابقِها فيما بينها). يمكنُكَ أيضًا مراجعةُ مثالِ لوحِ الرشْقِ الدائريِّ والأسهمِ في كتابِ الكيمياء.

## الخطأُ في القياسات

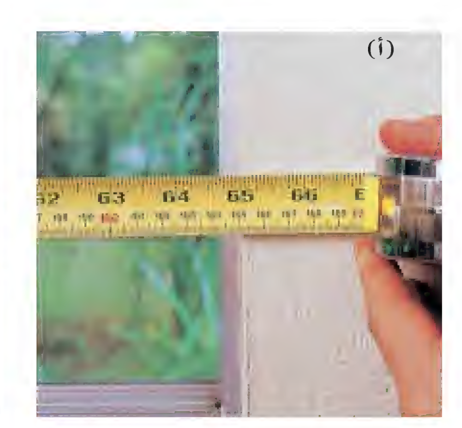
لا يخلو العملُ المختبريُّ من الخطأ. والأخطاءُ المختبريةُ الملازمةُ لكلِّ عمليةِ قياسٍ هي التي تجعلُ القياساتِ المختبريةَ قليلةَ الدقةِ أو قليلة الضبطِ أو الاثنتَين معًا.

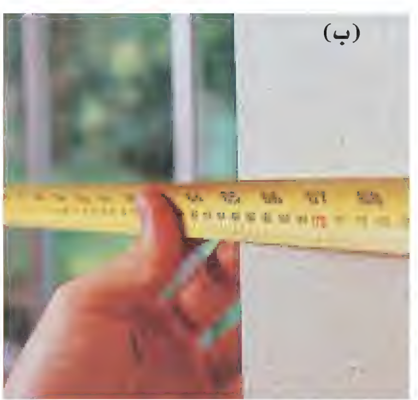
إذا كانَ تلافي الخطأِ المختبريِّ بشكلٍ جذريٍّ عمليةً مستحيلة، فإنَّ من المهمِّ تخفيضَ هذا الخطأِ إلى حدِّهِ الأدنى للحصولِ على أفضلِ النتائج.

تقسمُ الأخطاءُ الواردةُ في القياساتِ المختبريةِ إلى قسمين: خطأٍ بشريٍّ وخطأٍ في أداةِ القياس.

## الخطأُ البشريّ

ينتجُ الخطأُ البشريُّ من خطأٍ في قراءةِ أداةِ القياسِ مثلاً، أو خطأٍ في طريقةِ القياس، أو في تسجيلِ النتائج. وإحدى الطرائقِ لتلافي الخطأِ البشريِّ هي تكرارُ القياسِ للتأكّدِ من أنَّ النتائجَ منسجمةٌ، ووضعُ قواعدَ وضوابطَ صارمةٍ لطريقةِ القياس. فمثلاً حينَ نقيسُ الطولَ بوساطةِ مسطرةٍ متريةٍ، يجبُ أن يكونَ نظرُنا مباشرةً فوقَ إشارةِ القياس، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 1-9** (أ). لكن إذا نظرنا جانبيًّا إلى إشارةِ القياسِ







**الشكل 1-9**

إذا نظرتَ مباشرةً إلى إشارةِ القياس (أ) تجدُ أنَّ طولَ الشباكِ 165.2 cm.
لكن إذا نظرتَ جانبيًا (ب) و (ج) فإنكَ تحصُلُ على قياسٍ يشوبُهُ الخطأ.

**اختلافُ زاويةِ النظر**

اختلافُ القراءاتِ لقياسٍ معيَّنٍ إذا تمَّ النظرُ إليه من زوايا مختلفة.

فإننا قد نزيدُ من مقدارِ القياسِ أو نقلِّلُه، كما يبدو في **الشكل 1-9 (ب)** و (ج). تُسمّى هذهِ المشكلةُ **اختلافَ زاويةِ (اتّجاه) النظر** parallax. نتيجةً لذلكَ تكونُ قراءةُ السائقِ لعدَّادِ سرعةِ السيارةِ أدقَّ من قراءةِ الراكبِ الذي يجلسُ إلى جانبِه.

## خطأُ أداةِ القياس

إذا كانَ الميزانُ أو أداةُ قياسِ الطولِ لا يعملانِ بشكلٍ صحيحٍ فإنهما يسبِّبانِ أخطاءً في القياس. لهذا ينبغي استعمالُ الأجهزةِ المختبريةِ بحذرٍ وانتباه، وأن تكونَ الأجهزةُ بحالةٍ جيدة.

## تأثُّرُ الدقةِ والضبطِ بالأخطاءِ وأدواتِ القياس

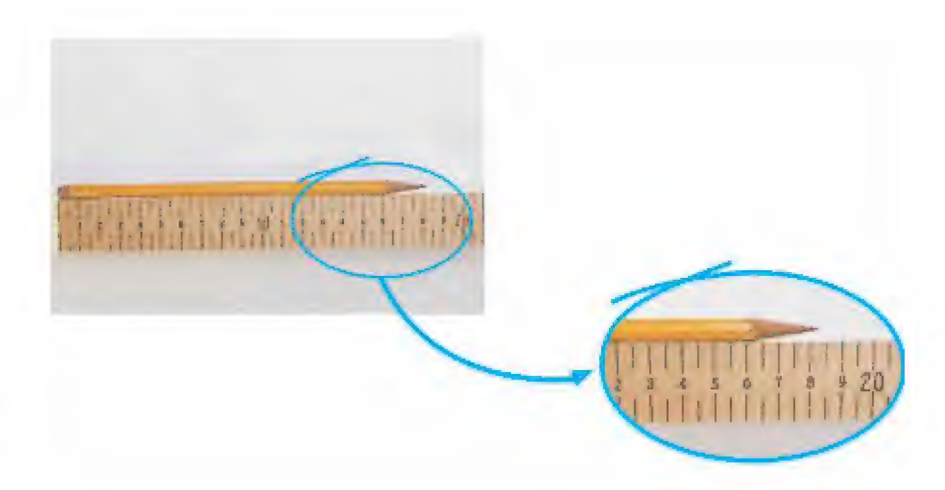
من الطبيعيِّ أن يكونَ للخطأِ المختبريِّ، سواءٌ كانَ خطأً بشريًّا أو في أداةِ القياس، تأثيرٌ في دقةِ القياساتِ الناتجة. فكلما قللنا من الأخطاءِ المختبريةِ كانتِ القياساتُ أكثرَ دقةً وقربًا من القيمةِ الصحيحةِ للكميةِ المقيسة.

أمَّا الضبطُ فيتأثرُ بحدودِ إمكاناتِ أداةِ القياس. فالمسطرةُ المدرَّجةُ بالمليمتراتِ تعطي قياساتٍ مضبوطةً أكثرَ من تلكَ المدرَّجةِ بالسنتيمترات، وعليهِ فالقياسُ 1.32 m أكثرُ ضبطًا من القياسِ 1.3 m.

يمكِّنُكَ تعزيزُ ضبطِ القياسِ في حالاتٍ كثيرةٍ، منَ القيامِ بتقديرٍ معقولٍ لموقعِ إشارةِ القياسِ على الأداة. لنفرضْ أنكَ ترغبُ في قياسِ طولِ قلمِ رصاصٍ باستعمالِ مسطرةٍ مدرَّجةٍ بـ cm، كما يظهرُ في **الشكل 1-10**. يقعُ رأسُ القلمِ بين 18 cm و 18.5 cm. عليكَ الآنَ تقديرُ موقعِ رأسِ القلمِ بين هاتينِ الإشارتين. يبدو رأسُ القلمِ الواقعُ بينَ الإشارتينِ أقربَ إلى الإشارةِ 18 cm. تستطيعُ الآن تقديرَ طولِ القلمِ بـ 18.2 cm.

## الأرقامُ المعنوية

تُقدَّمُ الأرقامُ المقيسةُ في التجاربِ العلميةِ على شكلِ أرقامٍ معنويةٍ، وهي تدلُّ على درجةِ ضبطِ القياسات. تتضمَّنُ **الأرقامُ المعنويةُ** significant figures جميعَ الأرقامِ أو الخاناتِ المعلومةِ بالتأكيد، بالإضافةِ إلى رقمٍ أخيرٍ تقديريٍّ غيرِ مؤكد.




**الشكل 1-10**
مع أنَّ هذه المسطرةَ مدرَّجةٌ بـ cm وبنصفِ cm يمكنُ استعمالها عندَ التقديرِ لإجراءِ قياساتٍ بدرجةِ ضبطٍ تبلغُ المليمتر (mm) .

يتضمّنُ قياسُ طولِ القلمِ أعلاه (أي 18.2 cm) ثلاثةَ أرقامٍ معنوية: اثنان منها (1 و 8) يؤلفانِ الجزءَ المؤكدَ من القياسِ، والثالثُ (2) هو رقمٌ تقديريّ فتكونُ القيمةُ الحقيقيةُ للقياسِ بين 18.15 cm و 18.25 cm. نلاحظُ أنَّ درجةَ ضبطِ التدرّجِ في أداةِ القياسِ تحددُ عددَ الأرقامِ المعنوية.

**الأرقامُ المعنوية**

الأرقامُ المؤكَّدةُ، يضافُ إليها الرقمُ الأولُ التقديريُ غيرُ المؤكد.

وحيثُ يكونُ الرقمُ الأخيرُ في القياسِ صفرًا، يصيرُ من الصعبِ القولُ ما إذا كانَ الصفرُ رقمًا معنويًا أم حافظًا للمنزلة. فإذا كانَ قياسُ طولٍ معيَّنٍ هو 230 mm، عندَها يصعبُ القولُ ما إذا كانَ القياسُ يشتملُ على رقمينِ معنويينِ أو ثلاثة.

يبيّنُ **الجدولُ 1-5** قواعدَ تحديدِ عددِ الأرقامِ المعنويةِ للقياسِ حينَ يتضمَّنُ أصفارًا.

**الجدول 1-5 قواعدُ اعتبارِ الأصفارِ أرقامًا معنوية**

| القاعدة | أمثلة |
|---|---|
| **1.** تعتبرُ الأصفارُ وهيَ بينَ أرقامٍ أخرى أرقامًا معنوية. | أ. 50.3 m يتضمنُ ثلاثةَ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 3.0025 s يتضمنُ خمسةَ أرقامٍ معنوية. |
| **2.** لا تعتبرُ الأصفارُ على الطرفِ الأيسرِ للعددِ أرقامًا معنوية. | أ. 0.892 kg يتضمنُ ثلاثةَ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 0.0008 ms يتضمنُ رقمًا معنويًا واحدًا. |
| **3.** تُعتبرُ الأصفارُ على الطرفِ الأيمنِ للعددِ وعلى يمينِ الفاصلةِ أرقامًا معنوية. | أ. 57.00 g يتضمنُ أربعةَ أرقامٍ معنوية.<br>ب. 2.000 000 kg يتضمنُ سبعةَ أرقامٍ معنوية. |
| **4.** تعتبرُ الأصفارُ على الطرفِ الأيمنِ للعددِ وإلى يسارِ الفاصلةِ أرقامًا معنويةً إذا قيستْ فعليًا أو كانتِ الرقمَ التقديريَّ الأولَ، وإلاّ اعتُبرتْ غيرَ معنوية. في هذا الكتابِ سنعتبرُ هذهِ الأصفارَ غيرَ معنوية. | أ. 1000 m يمكنُ أن يتضمنَ من رقمٍ معنويٍّ واحدٍ إلى أربعةِ أرقام، بحسبِ دقةِ القياسِ، لكنْ سنفترضُ، في هذا الكتابِ، أنَّ هذا القياسَ يتضمنُ رقمًا معنويًّا واحدًا.<br>ب. 20 m يمكنُ أن يتضمنَ رقمًا معنويًّا واحدًا أو اثنين، لكن سنفترضُ في هذا الكتابِ أنه يتضمنُ رقمًا معنويًّا واحدًا. |

**الجدول 1-6 قواعدُ عملياتِ الحسابِ مع أرقامٍ معنوية**

| عمليةُ الحساب | القاعدة | مثال |
|---|---|---|
| الجمعُ أو الطرح | يتضمَّنُ الجوابُ النهائيُّ إلى يمينِ فاصلتِه العددَ نفسَهُ من الخاناتِ الموجودةِ إلى يمينِ الفاصلةِ في القياسِ الذي يتضمنُ أقلَّ عددٍ من هذه الخانات. | 97.3 + 5.85 = 103.15 يُقرَّب إلى 103.2 |
| الضربُ أو القسمة | يتضمَّنُ الجوابُ النهائيُّ العددَ نفسَهُ من الأرقامِ المعنويةِ الموجودةِ في القياسِ الذي يتضمنُ عددًا أقلَّ من هذهِ الأرقام. | 123 x 5.35 = 658.05 يُقرَّب إلى 658 |

نطبِّقُ قواعدَ مشابهةً في حالةِ الضرب. لنفترضْ أنَّ عليكَ حسابَ مساحةِ غرفةٍ بضربِ الطولِ في العرض. إذا كان طولُ الغرفةِ 6.7 m وعرضُها 4.6 m فإنَّ حاصلَ ضربِ هاتينِ القيمتينِ هو $30.82\ m^2$. إلاّ أنَّ هذا الجوابَ يتضمنُ أربعةَ أرقامٍ معنويةٍ، أي إنه أكثرُ دقةً من قياسِ كلٍّ من الطولِ والعرض. وبما أنَّ الغرفةَ قد تكونُ صغيرةً إلى حدودِ 4.55 m x 6.65 m أو كبيرةً إلى حدودِ 4.65 m x 6.75 m، فإنَّ قياسَ مساحتِها ينبغي أن يكونَ بين القيمتينِ $30.26\ m^2$ و$31.39\ m^2$. ينبغي لمساحةِ الغرفةِ أن تتضمنَ رقمينِ معنويينِ فقط مثلَ قياسَيِ الطولِ والعرض. هكذا ينبغي تدويرُ (تقريبُ) العددِ $30.82\ m^2$ إلى العددِ $31\ m^2$. يلخِّصُ **الجدولُ 1-6** قاعدتينِ تمكِّنانِ من تحديدِ عددِ الأرقامِ المعنويةِ عندَ إجراءِ الحسابات.

**الجدول 1-7 قواعدُ التدوير (التقريب)**

| متى نُقرِّب | كيفَ نُقرِّب | أمثلة |
|---|---|---|
| حينَ يكونُ الرقمُ الذي يلي آخرَ رقمٍ معنويٍّ أحدَ الأرقام: 0، 1، 2، 3، 4 | يقرَّبُ بإلغاءِ أرقام | 30.24 يصبحُ 30.2 |
| حينَ يكونُ الرقمُ الذي يلي آخرَ رقمٍ معنويٍّ أحدَ الأرقام: 5، 6، 7، 8، 9 | يقرَّبُ برفعِ أرقام | 22.49 يصبحُ 22.5 |

## الآلاتُ الحاسبةُ والأرقامُ المعنوية

أنتَ تستعملُ الآلاتِ الحاسبةَ في معالجةِ مسائلَ أو قياساتٍ لأنها أسرعُ منكَ، إلاّ أنها لا تأخذُ في الاعتبارِ عددَ الأرقامِ المعنويةِ الموجودةِ في القياسات.

تبالغُ الآلاتُ الحاسبةُ في الضبطِ، فتعطي إجاباتٍ تتضمنُ من الأرقامِ ما تسمحُ به لوحتُها. ولتعزيزِ النهجِ الصحيحِ فإنَّ إجاباتِ الأمثلةِ الواردةَ في هذا الكتابِ ستحتوي من الأرقامِ المعنويةِ ما يبرِّرُه ضبطُ القياس.

كي يتضمَّنَ الجوابُ العددَ الصحيحَ من الأرقامِ المعنويةِ نلجأُ أحيانًا إلى **تدوير (تقريب)** rounding نتائجِ الحساب، مستعملينَ القواعدَ المذكورةَ في **الجدول 1-7**. وفي هذا الكتابِ سندوِّرُ نتائجَ الحسابِ بعد كلِّ عمليةٍ رياضية. سندوِّر، مثلاً، نتيجةَ سلسلةٍ من عملياتِ الضربِ أو القسمةِ وفقًا للقاعدةِ الخاصةِ بها، قبلَ الانتقالِ إلى عمليةِ جمعِ العددِ أو طرحِه. اسألِ المدرِّسَ إنْ كانَ عليكَ أن تقرِّبَ الجوابَ أو تؤجِّلَ ذلكَ حتى الانتهاءِ من كلِّ الحسابات.

**التدوير (التقريب)**

حذفُ الخاناتِ في قياس وفقَ قواعدَ معيَّنة، بحيث يصبحُ للقياسِ العددُ المطلوبُ من الخاناتِ المعنوية.

## مراجعةُ القسم 1-2

**1.** ما وَحَداتُ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ التي تستعملُها في القياسات التالية؟

أ. طولُ حوضِ سباحة

ب. كتلةُ الماءِ في الحوض

ج. الزمنُ الذي يقطعُ خلالَهُ السبّاحُ الحوض

**2.** حوِّلِ القياساتِ التاليةَ وفقًا لما هو مبيَّن:

أ. 6.20 mg بوحدةِ kg

ب. $3 \times 10^{-9}$s بوحدةِ ms

ج. 88.0 km بوحدةِ m

**3.** قاسَ ثلاثةُ متعلِّمينَ كثافةَ قطعةٍ من الرصاصِ ثلاثَ مرات. إذا علمتَ أنَّ كثافةَ الرصاصِ هي $11.34$ g/cm$^3$، وبعدَ الاطِّلاعِ على نتيجةِ كلٍّ من هؤلاءِ المتعلِّمين، فأيُّ النتائجِ كانتْ دقيقة؟ أيّها كانت مضبوطة؟ أيّها ليستْ مضبوطةً وغيرُ دقيقة؟

أ. ثارين : 11.33 g/cm$^3$، 11.35 g/cm$^3$، 11.32 g/cm$^3$

ب. كوردين: 11.43 g/cm$^3$، 11.44 g/cm$^3$، 11.42 g/cm$^3$

ج. به رزين: 11.55 g/cm$^3$، 11.34 g/cm$^3$، 11.04 g/cm$^3$

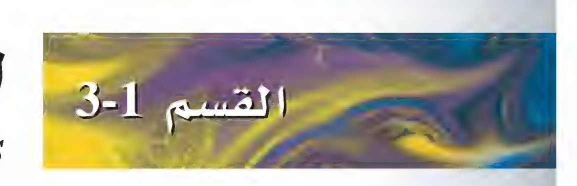
**4.** طبِّقْ قواعدَ الأرقامِ المعنويّةِ في إنجازِ الحساباتِ التالية:

أ. $26 \times 0.02584 = ?$

ب. $15.3 \div 1.1 = ?$

ج. $782.45 - 3.5328 = ?$

د. $63.258 + 734.2 = ?$




# لغةُ الفيزياء
*The Language of Physics*

### 3-1 مؤشّراتُ الأداء

- يفسِّرُ بياناتِ الجداولِ والرسومَ البيانية.
- يستنتجُ المعادلاتِ الفيزيائيةَ من الرسوم البيانية.
- يميِّزُ بينَ رموزِ الوحداتِ والكمِّيات.
- يستعمل التحليلَ البعديَّ للتأكدِ من صحّةِ المعادلةِ الفيزيائية.
- يُنجز حساباتِ رتبةِ العِظَم.

## الرياضياتُ والفيزياء

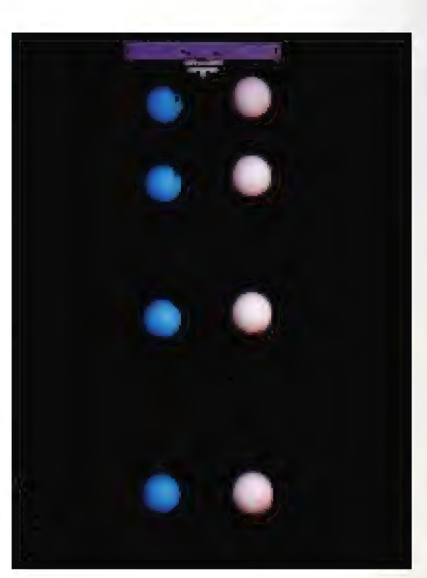
حينَ يبتكرُ علماءُ الفيزياءِ نماذجَ مبسَّطةً كي يَفهموا العالمَ الواقعيَّ على نحوٍ أفضلَ، يستعملونَ أدواتِ الرياضياتِ لتحليلِ وتلخيصِ ما يلاحظون. بعد ذلكَ يستطيعونَ استعمالَ العلاقاتِ الرياضيّةِ بينَ الكمياتِ الفيزيائية كي يتوقعوا ما سوف يحصُلُ في حالاتٍ معيّنة.

### الجداولُ والرسومُ البيانيّة

توجدُ طرائقُ مختلفةٌ لتمثيلِ البيانات، لننظرْ إلى التجربةِ المبيَّنةِ في **الشكل 11-1**. تَختبرُ هذهِ التجربةُ فرضيةَ غاليليو من خلالِ إسقاطِ كرةِ طاولة وكرةِ غولف، وقياسِ المسافةِ التي تقطعُها كلٌّ منهما خلالَ زمنٍ محدَّد. سُجِّلتِ النتائجُ على شكلِ مجموعةٍ من الأرقامِ تعودُ إلى مدةِ السقوطِ وإلى المسافةِ التي تقطعُها كلُّ كرةٍ وهي تسقطُ أثناءَ هذهِ المدة. والطريقةُ المناسبةُ لتحليلِ البياناتِ هي وضعُها في جدولٍ مثلَ **الجدول 8-1**. تبيِّنُ هذه البياناتُ اتجاهًا واضحًا يفيدُ أنَّ مدَّة السقوط تزداد بازدياد مسافة سقوط الكرة.

**الجدول 8-1 بياناتُ تجربةِ الكرةِ الساقطة**

| الزمنُ المستغرَق (s) | مسافةُ سقوطِ كرةِ الغولف (cm) | مسافةُ سقوطِ كرةِ الطاولة (cm) |
|---|---|---|
| 0.067 | 2.20 | 2.20 |
| 0.133 | 8.67 | 8.67 |
| 0.200 | 19.60 | 19.59 |
| 0.267 | 34.93 | 34.92 |
| 0.333 | 54.34 | 54.33 |
| 0.400 | 78.40 | 78.39 |



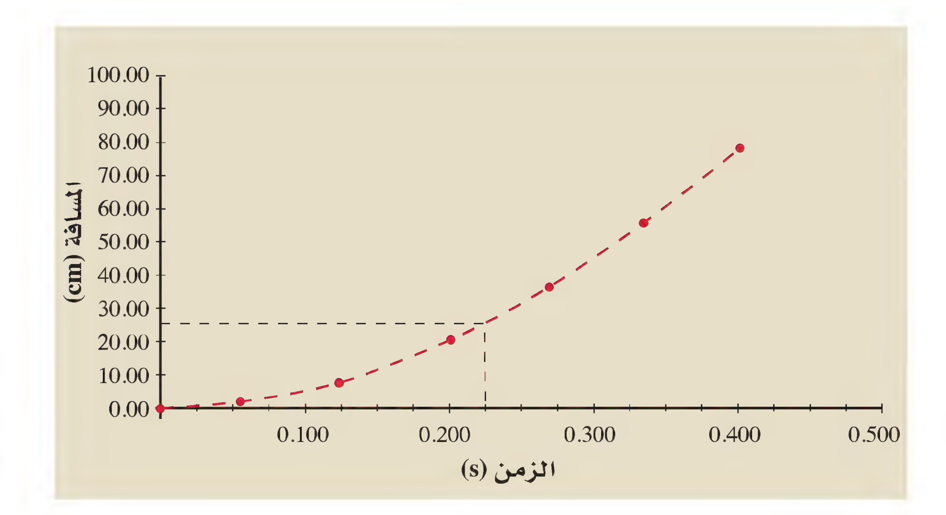
**الشكل 11-1**
تجربةٌ للتحقُّق من صحةِ فرضيةِ غاليليو من خلالِ إسقاطِ كرتينِ مختلفتينِ في الكتلةِ ومتساويتين في الحجم.

يُعتبرُ رسمُ منحنًى يمثِّلُ مسافةَ سقوطِ الكرةِ في كلِّ فترةٍ زمنية، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 12-1**، طريقةً أفضلَ لتحليلِ هذهِ البيانات. يسمحُ هذا المنحنى مثلاً بتقديرِ مسافةِ سقوطِ الكرةِ في أثناءِ مدةٍ معيَّنةٍ لم تُذكرْ في البيانات، (0.225 s مثلاً). يوفِّرُ شكلُ المنحنى أيضًا معلومةً عن العلاقةِ بينَ المدةِ الزمنيةِ والمسافة.

نستطيعُ كذلكَ أن نستعملَ المعادلةَ التاليةَ لوصفِ العلاقةِ بينَ متغيراتِ هذهِ التجربة:

$$\text{التغيُّرُ في الموقع (m)} = 4.9 \times [\text{زمن السقوط (s)}]^2$$

تسمحُ هذه المعادلةُ في رسمِ المنحنى وتوقُّعِ مقدارِ التغيرِ في الموقعِ أثناءَ أيِّ مدةٍ زمنية.




**الشكل 12-1**
يوفِّرُ هذا الرسمُ البيانيُّ طريقةً مناسبةً لإيجازِ البياناتِ، ويبينُ العلاقةَ بينَ مسافةِ سقوطِ الجسمِ وزمنِ سقوطِه.

## أهميّةُ المعادلاتِ الفيزيائية

في حينِ يستعملُ علماءُ الرياضياتِ المعادلاتِ لوصفِ العلاقاتِ بينَ المتغيراتِ، يستعملُ علماءُ الفيزياءِ الرياضياتِ كأداةٍ لوصفِ علاقاتٍ بين كمياتٍ فيزيائيةٍ في حالةٍ معيَّنة. فقد يؤثِّرُ، مثلاً، في نتيجةِ تجربةٍ متغيِّرٌ واحدٌ أو متغيراتٌ عدة. وفي حالةِ التوقُّعِ تكونُ المعادلةُ الفيزيائيةُ عَرْضًا موجَزًا مرتكِزًا على نموذجٍ للحالة. وإذْ تبيِّنُ المعادلةُ ما نعتقدُه حولَ كيفيةِ ارتباطِ متغيِّرَيْن أو أكثرَ معًا، فإنَّ معظمَ المعادلاتِ المهمةِ في الفيزياءِ لا تحتوي على أرقامٍ، بل هي وصفٌ للعلاقةِ بينَ كمياتٍ فيزيائية.

لجعلِ المعادلاتِ بسيطةً قدرَ الإمكانِ يستعملُ علماءُ الفيزياءِ الحروفَ لوصفِ الكمياتِ الفيزيائية. مثلاً يُستخدمُ الحرفُ $v$ للدلالةِ على «مقدارِ السرعة». وتُستعملُ الحروفُ اليونانيةُ لوصفِ العملياتِ الرياضية. فمثلاً يُستخدمُ الحرفُ $\Delta$ (دلتا) أحيانًا للدلالةِ على «الفرقِ بينَ» أو «التغيُّر في»، والحرفُ $\Sigma$ (سيغما) بمعنى «مجموع».

إذا استعملنا هذه المصطلحاتِ، يمكنُ كتابةُ المعادلةِ المذكورةِ سابقًا على الشكلِ التالي:

$$\Delta y = 4.9(\Delta t)^2$$

يدلُّ الرمزُ $\Delta y$ على التغيرِ في موقعِ الكرةِ من نقطةِ انطلاقِها، ويدلُّ الرمزُ $\Delta t$ على الزمنِ المستغرَقِ منذُ لحظةِ البداية.

رأيتَ في **القسم 2-1** أنَّ الوحداتِ تُمثَّلُ برموزٍ هي حروفٌ لاتينيةٌ عادية. والكمياتُ الفيزيائيةُ بدورِها تمثَّلُ برموزٍ هي حروفٌ لاتينيةٌ مائلة. وتجدُ في الملحقِ (ب) جداولَ تساعدُكَ في التعرُّفِ إلى رموزِ الوحداتِ والكمِّياتِ الفيزيائيةِ التي تصادفُها خلالَ دراستِكَ لعلمِ الفيزياء. يبينُ **الجدولُ 9-1** بعضَ رموزِ المتغيِّراتِ والوحدات.

**الجدول 9-1 رموزُ المتغيِّراتِ والوحدات**

| الكميّة | الرمز | الوحدة | الرمز |
|---|---|---|---|
| التغيُّرُ في الموقع | $\Delta x$ ،$\Delta y$ | المتر | m |
| الفترةُ الزمنية | $\Delta t$ | الثانية | s |
| الكُتلة | $m$ | الكيلوغرام | kg |

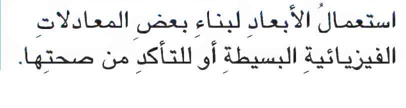
# تقويمُ الصيغِ الفيزيائية

## التحليلُ البُعديّ

لنفترضْ أنَّ سيارةً، كتلكَ الظاهرةِ في **الشكل 1-13**، تتحركُ بانطلاقِ 88 km/h وأنكَ تريدُ أن تعرفَ المدةَ الزمنيةَ التي تستغرقُها لتقطعَ مسافةَ 725 km. فكيفَ تختارُ الطريقةَ السليمةَ لحلِّ هذه المسألة؟

يُمكِنُك أن تعتمدَ طريقةً فعّالةً تُسمّى **التحليلَ البعديّ** dimensional analysis. يرتكزُ هذا التحليلُ على إمكانيةِ معالجةِ الأبعادِ وكأنها كميّاتٌ جبرية. مثلاً يُمكنُ جمعُ كميتينِ أو طرحُهما فقط إذا كانَ لهما البعدُ نفسُه. يجبُ إذنْ أن تكونَ لطرفَيِ المعادلةِ الأبعادُ نفسُها.

**التحليلُ البعدي**



استعمالُ الأبعادِ لبناءِ بعضِ المعادلاتِ الفيزيائيةِ البسيطةِ أو للتأكدِ من صحتِها.

سنطبِّقُ هذه التقنيةَ على مسألةِ السيارةِ التي تتحركُ بسرعةِ 88 km/h. نلاحظُ أنَّ بُعدَ السرعةِ هو الطولُ على الزمنِ، وبُعدَ المسافةِ المقطوعةِ هو الطول. وإذا ضربْنا السرعةَ في المسافةِ نحصُلُ على النتيجةِ التالية:

$$\text{الانطلاق x المسافة} = \frac{\text{الطول}}{\text{الزمن}} \times \text{الطول} = \frac{\text{الطول}^2}{\text{الزمن}}$$

أو

$$725\ \text{km} \times \frac{88\ \text{km}}{1.0\ \text{h}} = \frac{6.4 \times 10^4\ \text{km}^2}{1.0\ \text{h}}$$

من الواضحِ أنَّ البُعدَ في الجوابِ الذي حصلْنا عليه ليسَ الزمنَ كما هو مطلوب. وللحصولِ على جوابٍ يكونُ بُعدُهُ (وحدته) زمنًا عليكَ أن تقسمَ المسافةَ على الانطلاقِ وفقًا لما يلي:

$$\text{الطول} \div \frac{\text{الطول}}{\text{الزمن}} = \frac{\cancel{\text{الطول}} \times \text{الزمن}}{\cancel{\text{الطول}}} \quad \text{أو} \quad 8.2\ \text{h} = \frac{725\ \cancel{\text{km}} \times 1.0\ \text{h}}{88\ \cancel{\text{km}}} = \text{الزمن}$$

لحلِّ مسائلَ بسيطةٍ كهذه لن تكونَ بحاجةٍ إلى التحليلِ البُعديّ، لكنْ في حالاتٍ أكثرَ تعقيدًا يشكِّلُ التحليلُ البعديُّ مرحلةً أولى ذكيةً توفِّرُ عليكَ الكثيرَ من الوقت.



**الشكل 1-13**

يشكِّلُ التحليلُ البعديُّ وسيلةَ تدقيقٍ مفيدةً لأنواعٍ كثيرةٍ من المسائلِ مثلِ مسألةِ الزمنِ اللازمِ كي تقطعَ سيارةٌ مسافةَ 725 km بسرعةِ 88 km/h.

## رتبةُ العِظَم

يتّسعُ مدى علمِ الفيزياءِ لتناولِ أرقامٍ كبيرةٍ كالأرقامِ المستعملةِ في مجالِ علمِ الفلك، أو أرقامٍ صغيرةٍ كالأرقامِ المستعملةِ في مجالِ الفيزياءِ النووية. لهذا، من المفيدِ أحيانًا تقديرُ قيمةِ الجوابِ قبلَ حلِّ المسألةِ بدقة. يُسمّى هذا النوعُ من التقديرِ حسابَ **رتبةِ العِظَم** order of magnitude الذي يعني تحديدَ قوةِ الرقمِ 10 الأقربِ إلى القيمةِ العدديةِ الواقعيّةِ للكميةِ الفيزيائية. فهذا الحسابُ يساعدُكَ في الحكمِ على عدمِ صحّةِ الأجوبةِ التي لا يكونُ لها رتبةُ العِظَمِ نفسُها مهما بلغتْ دقةُ الإجابة.

**رتبةُ العظم**

قوةُ الرقمِ 10 الأقربِ إلى القيمةِ العدديةِ للكميةِ الفيزيائية.

لنأخذْ مثلاً مسألةَ رحلةِ السيارةِ التي تَحدَّثْنا عنها عندَ معالجتِنا موضوعَ التحليلِ البعدي. علينا أن نقسِمَ المسافةَ على السرعةِ حتى نحصُلَ على الزمن. إنَّ مسافةَ

725 km أقربُ إلى $10^3$ km (أو 1000 km) منها إلى $10^2$ km (أو 100 km)، لذا نستعملُ $10^3$ km. أما السرعةُ 88 km/h فهي حوالي $10^2$ km/h (أو 100 km/h).
إذنْ، رتبةُ عِظَمِ المدةِ الزمنية هي:

$$\frac{10^3 \text{ km}}{10^2 \text{ km/h}} = 10 \text{ h}$$

تدلُّ هذهِ القيمةُ على أنَّ الجوابَ الصحيحَ ينبغي أن يكونَ أقربَ إلى الرقمِ 10 منه إلى الرقمِ 1 أو الرقمِ 100. وجدتَ سابقًا أنَّ الجوابَ الصحيحَ 8.2 h، هو إذنْ جوابٌ متوافقٌ مع حسابِ رتبةِ العِظَم.

يمكنُ استعمالُ رتبةِ العِظَمِ أيضًا في حالاتٍ لا تتوفَّرُ حولَها معلوماتٌ كافية. مثلاً: كيفَ نقدِّرُ كميةَ الوقودِ التي تستهلكُها السياراتُ سنويًا في بلدٍ معيَّن؟

نفترضُ أولاً أنَّ عددَ سكانِ إقليم كردستان الجنوبي 5 000 000 نسمة، وأنَّ كلَّ عائلةٍ تتألفُ من خمسةِ أشخاصٍ وتمتلكُ سيارةً واحدة. هكذا يمكنُ تقديرُ عددِ السياراتِ في هذا الإقليمِ بـ 1000 000 سيارة، أو بـ $1 \times 10^6$ سيارة. في مرحلةٍ ثانيةٍ نقدِّرُ المسافةَ التي تقطعُها كلُّ سيارةٍ سنويًا. بعضُ السياراتِ تقطعُ حوالي 10 000 km في السنةِ، والبعضُ الآخرُ حوالي 30 000 km. ويمكنُ تقديرُ رتبةِ العِظَمِ للمسافةِ المتوسطةِ 20 000 km أو $2 \times 10^4$ km.

إذا افترضْنا أنَّ السيارةَ تستهلكُ 20 $l$ من الوقودِ لتقطعَ مسافةَ 100 km، فإنها تستهلكُ سنويًا: (20 000 km) x 20 $l$ /100 km = 4000 $l$.

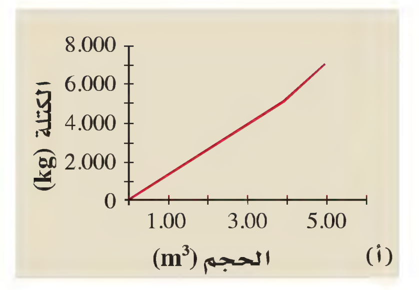
إذا ضربْنا هذا الرقمَ بعددِ السياراتِ المقدَّرِ بـ 1000 000 سيارةٍ، نجدُ أنَّ الاستهلاكَ السنويَّ من الوقودِ هو حوالي: $1 \times 10^6 \times$ (4000 $l$ /السيارة) = $4 \times 10^9$ $l$.

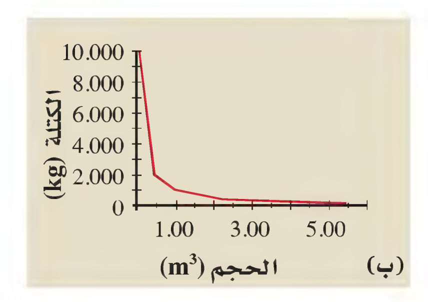
هذا الرقمُ هو في الواقعِ أقلُّ من الرقمِ الحقيقيِّ، لأننا عندَ تقديرِ العددِ التقريبيِّ للسياراتِ لم نراعِ أن الأسرةَ قد تمتلكُ أكثرَ من سيارةٍ واحدةٍ، كما أننا أهملْنا الاستهلاكَ التجاريَّ للوقود.

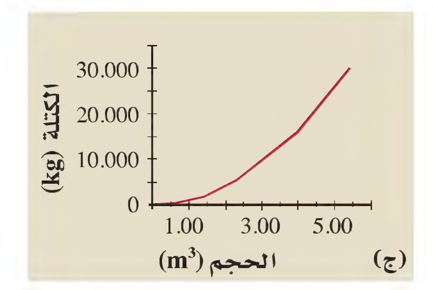
## مراجعةُ القسم 1-3

**1.** أيٌّ من الرسومِ البيانيةِ التاليةِ يمثّلُ البياناتِ المدرجةَ أدناه؟

| كتلةُ الهواء (kg) | حجمُ الهواء ($m^3$) |
|---|---|
| 0.644 | 0.50 |
| 1.936 | 1.50 |
| 2.899 | 2.25 |
| 5.159 | 4.00 |
| 7.096 | 5.50 |




**الشكل 1-14**

**2.** أيٌّ من المعادلاتِ التاليةِ يتوافقُ مع بياناتِ السؤالِ رقم 1؟

أ. 1.29 x(الحجم) = (الكتلة)$^2$

ب. 1.29 = الكتلة x الحجم

ج. 1.29 x الحجم = الكتلة

د. 1.29 x (الحجم)$^2$ = الكتلة

**3.** حدِّدْ وحداتِ الكمياتِ التي تصفُها التركيباتُ التاليةُ من الوحدات:

أ. kg (m/s) (1/s)

ب. (kg/s) ($m/s^2$)

ج. (kg/s) $(m/s)^2$

د. (kg/s) (m/s)

**4.** أيٌّ من التالي هو التقديرُ الأفضلُ لرتبةِ عِظَمِ ارتفاعِ جبلٍ بالمتر؟

أ. $10^0$ m

ب. $10^1$ m

ج. $10^2$ m

د. $10^3$ m







# السوقُ الاستهلاكية



ربّما قرأتَ من قبلُ الإعلاناتِ التالية: «بيعُ مئاتِ الآلافِ من قناني المياهِ المعدنية» أو «إرضاءً لملايينِ الزبائن». هذه أعدادٌ كبيرةٌ جدًّا. من قامَ بإحصاءِ كلِّ هذه القناني وهؤلاءِ المستهلكين؟ هل يمكنُ تصديقُ هذه الأرقام؟

في حالةِ معظمِ الأرقامِ الكبيرةِ، كعددِ النجومِ في الكونِ، لا يُعرفُ العددُ على وجهِ الدقة. لا أحدَ يريدُ في الحقيقةِ معرفةَ العددِ الدقيقِ لقناني المياهِ المعدنيةِ أو عددِ المستهلكينَ أو النجومِ في الكون. فأعدادُ هذه الأشياءِ هيَ في الحقيقةِ تقديراتٌ مبنيةٌ على بياناتٍ أخرى، كعددِ قناني المياهِ المعدنيةِ التي تتمُّ تعبئتُها في الشركةِ، أو مدخولِ المبيعاتِ لشركةٍ معينةٍ، أو عددِ النجومِ الظاهرةِ في رقعةٍ محددةٍ من السماء.

لنعرفَ كيفَ يحدثُ ذلكَ، نفرضُ أنَّ عددَ قناني المياهِ المعدنيةِ التي بيعتْ في إقليمِ كردستان العراقيّ قُدِّرَ بمليونِ قنينةٍ في اليوم، وذلكَ على مدى السنواتِ العشرِ الماضية (أي 3650 يومًا). وفقًا لهذه الفرضيةِ يكونُ إنتاجُ شركةِ المياهِ منَ

القناني على امتدادِ هذه السنوات:

$$3.65 \times 10^9 \text{ قنينة} = 3.65 \times 10^3 \times \frac{10^6 \text{ قنينة}}{\text{يوم}} \text{ يومًا}$$

لكنْ كيفَ نتأكّدُ من صحةِ هذه التقديراتِ مع أنَّ أحدًا لم يُحصِ فعلاً كلَّ هذهِ القناني؟ يمكنكَ التحقُّقُ من ذلكَ بعدَ أن تدرسَ ما تعنيهِ هذه التقديراتُ للفردِ، وترى إن كانتِ النتيجةُ مقنعة.

لنفرضْ أنَّ عددَ سكّانِ إقليمِ كردستان حوالي ستَّةِ ملايينِ نسمة. فإذا قسمْنا مليونَ قنينةٍ مستهلكةٍ في اليومِ على ستَّةِ ملايينِ نسمة نحصُلُ على الرقمِ $\frac{1}{6}$ ، مما يعني أنَّ واحدًا من كلِّ ستَّةِ أشخاصٍ يستهلكُ قنينةَ مياهٍ معدنيةٍ واحدةً في اليوم، بينما يشربُ الباقونَ من مصادرَ أخرى. وعليه تبدو هذه الفرضيةُ مقبولة. وإذا كانَ واحدٌ من كلِّ ستَّةِ أشخاصٍ في كردستان يستهلكُ ما ينقُصُ قليلاً أو يزيدُ قليلاً على قنينةِ مياهٍ معدنيةٍ واحدةٍ في اليومِ الواحد، وليسَ بالضبطِ قنينةً واحدةً، يمكنُنا حسابُ استهلاكِ الفردِ على امتدادِ فترةٍ زمنيةٍ أطولَ كشهرٍ مثلاً، فنقولُ عندَها إنَّ متوسطَ ما يستهلِكُهُ شخصٌ واحدٌ من كلِّ ستَّةِ أشخاصٍ في كردستان، في الشهرِ الواحدِ، هو حوالي 30 قنينةَ مياهٍ معدنية. بذلك نرى أنَّ حسابَ متوسطِ الاستهلاكِ للفردِ الواحدِ يساعدُنا في الحكمِ على صحةِ الفرضياتِ الاستهلاكيةِ التي نضعُها.

يمكنك استعمالُ طريقةٍ مشابهةٍ لتقديرِ عددِ أجهزةِ الهواتفِ النقالةِ المبيعةِ شهريًّا في إقليمِ كردستان.



# ملخّصُ الفصل 1

## أفكارٌ أساسية

### القسم 1-1 ما هو علمُ الفيزياء؟

- علمُ الفيزياءِ هو دراسةُ العالَمِ الطبيعيِّ، من الحركةِ والطاقةِ إلى الضوءِ والكهرباءِ.
- يستعمل علمُ الفيزياءِ المنهجَ العلميَّ لاكتشافِ قوانينَ عامّةٍ يمكنُ استعمالها لوضعِ توقعاتٍ تتناولُ حالاتٍ متنوعة.
- التقنيّةُ الشائعةُ المتّبعَةُ في علمِ الفيزياءِ لتحليلِ حالةٍ معقَّدةٍ هي إهمالُ العواملِ غيرِ المناسبةِ، وابتكارُ نموذجٍ يصفُ ما هو أساسيٌّ في النظامِ أو الحالة.

### القسم 1-2 القياساتُ في التجارب

- للدلالةِ على القياساتِ في علمِ الفيزياءِ نستعملُ وحداتِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، وهو نظامٌ يَستعملُ مجموعةً من الوحداتِ الأساسيةِ والبادئاتِ لوصفِ قياساتِ الكميّاتِ الفيزيائية.
- الدقّةُ تدلُّ على مدى قربِ القياسِ من الواقع. والضبطُ ينتُجُ من درجةِ التحديدِ في جهازِ القياسِ المستعمل.
- تُستعملُ الأرقامُ المعنويةُ لتدلَّ على الأرقامِ الأكيدةِ وعلى الأرقامِ التقديريةِ في القياس.
- تشكّلُ قواعدُ الأرقامِ المعنويةِ وسيلةً للتأكّدِ من أنَّ نتيجةَ الحسابِ ليستْ أكثرَ ضبطًا من البياناتِ المستعملة للحصولِ على هذه النتيجة.

### القسم 1-3 لغةُ الفيزياء

- يجعلُ الفيزيائيونَ عملَهمَ أكثرَ سهولةً بتلخيصِ البياناتِ في جداولَ ورسومٍ بيانيةٍ، وباختصارِ الكمياتِ في معادلات.
- يمكنُ أن يساعدَ التحليلُ البعديُّ في التحقُّقِ من صحةِ المعادلةِ العلمية.
- تسمحُ حساباتُ رتبةِ العِظَمِ بتقديرٍ سريعٍ لمدى تلاؤمِ الجوابِ مع الحالة.

### رموزُ المتغيرات

| الكميّات | | الوحدات | |
|---|---|---|---|
| $\Delta x$ ،$\Delta y$ | التغيُّرُ في الموقع | m | المتر |
| $\Delta t$ | الفترةُ الزمنية | s | الثانية |
| $m$ | الكُتلة | kg | الكيلوغرام |

## مصطلحاتٌ أساسية

المنهجُ العلمي
Scientific method (ص 6)

النظام System (ص 6)

النموذج Model (ص 7)

التجربةُ الضابطة
Controlled experiment (ص 8)

البُعد Dimension (ص 10)

الدقة Accuracy (ص 15)

الضبط Precision (ص 15)

اختلافُ زاويةِ النظر
Parallax (ص 16)

الأرقامُ المعنوية
Significant figures (ص 17)

التقريب Rounding (ص 19)

التحليلُ البعدي
Dimensional analysis (ص 22)

رتبةُ العظم
Order of magnitude (ص 22)



# مراجعةُ الفصل 1

## راجعْ وقيِّمْ

## علمُ الفيزياء

### أسئلةُ مراجعة

1. راجعِ **الجدولَ 1-1** في الصفحةِ 5 لتحددَ مجالينِ، على الأقلِّ، من مجالاتِ علمِ الفيزياءِ التي تشملُ كلاًّ منَ الحالاتِ التالية:
   أ. بناءَ نظامٍ لتضخيمِ الصوتِ في سيارتِك
   ب. القفزَ بالحبلِ المطاطي
   ج. تقديرَ سخونةِ لهبِ الموقدِ بالنظرِ إليه
   د. الغطسَ في حوضِ سباحةٍ لتبريدِ الجسمِ في يومٍ حارٍّ

2. أيُّ السيناريوهاتِ التاليةِ يتوافقُ معَ المنهجِ العلميِّ؟
   أ. يستمعُ ميكانيكيُّ سياراتٍ إلى الصوتِ الصادرِ عن محرِّكِ السيارةِ أثناء اشتغاله ليتوصلَ إلى رأيٍ حولَ العُطل. يكوِّنُ رأيًا حولَ العُطل ثم يتحققُ من صحةِ رأيِهِ بضبطِ السرعةِ الخاملة. بناءً على ذلكَ يقرِّرُ أنَّ رأيَهُ السابقَ كانَ خطأً. أخيرًا يقرِّرُ أنَّ المشكلةَ في مضخةِ الوقود، ويستشيرُ ميكانيكيينَ آخرينَ حولَ صحةِ استنتاجِهِ هذا.
   ب. بالنظرِ إلى اختلافِ الآراءِ حولَ مكانِ الرحلةِ التي قررَ الصفُّ أن يقومَ بها، أجرى المسؤولُ عن الصفِّ اقتراعًا. صوَّتتْ أغلبيةُ المتعلِّمينَ مع الذهابِ إلى حديقةٍ عامةٍ بدلاً من شاطئِ البحرِ.
   ج. وصلَ فريقُ مدرستِكَ إلى المباراةِ النهائيةِ في بطولةِ المدارسِ لكرةِ السلَّة. يقولُ صديقٌ لك من المدرسةِ المنافسةِ إن فريقَ مدرستِهِ سيفوزُ لأنَّ لاعبيه يطمحونَ إلى الفوزِ أكثرَ من لاعبي فريقِ مدرستِك.
   د. لا يندفعُ الماءُ من نافورةِ الشربِ إلى الارتفاعِ المطلوب. يبدو أنَّ قبضةَ النافورةِ رخوةٌ، لذلكَ تحاولُ دفعَها إلى الداخلِ عند دورانِها، وعندَها يندفعُ الماءُ عاليًا فيتسنَّى لكَ الشرب. احرصْ على أن تخبرَ زملاءَكَ بما فعلْتَ.

3. قرَّرتَ اختيارَ سيارةٍ جديدةٍ باستعمالِ المنهجِ العلميِّ. ماذا تفعلُ؟

4. فكِّرْ في هذه الجملة: «قفزَ الثعلبُ البُنِّيُّ السريعُ فوقَ الكلبِ الكسول.» ما التفاصيلُ التي يُهمِلُها عالِمُ الفيزياءِ حينَ يضعَ نموذجًا لحركةِ الثعلبِ في هذه الحالة؟

## وحدات SI

### أسئلةُ مراجعة

5. اذكرِ الوحدةَ الأساسيةَ المناسبةَ من وَحَداتِ النظامِ الدوليِّ (مع البادئة عندَ الحاجة) اللازمةَ للكمياتِ التالية:
   أ. الزمنُ اللازمُ لتشغيلِ قرصٍ مُدْمَجٍ في جهازِ الستيريو
   ب. كتلةُ سيارة سِباق
   ج. طولُ ملعبِ كرةِ القدم
   د. قُطرُ قطعةِ بيتزا كبيرة
   هـ. كتلةُ شريحةٍ من اللحم
   و. الفترةُ الزمنيةُ لفصلٍ دراسي
   ز. المسافةُ بينَ منزلِكَ والمدرسة
   ح. كتلتُك
   ط. طولُ قاعةِ مختبرِ الفيزياءِ في مدرستِك
   ي. طولُك

6. وحدةُ قياسِ السرعةِ هي m/s. ما الوحدةُ التي تقيسُ بها مربَّعَ السرعةِ؟

7. وحدةُ قياسِ القوةِ هي النيوتن($1\ \text{newton} = 1\ \text{kg•m/s}^2$)، ووحدةُ قياسِ السرعةِ هي m/s. ما الوحدةُ في الجوابِ الحاصلِ عن قسمةِ القوةِ على السرعةِ؟

### أسئلةٌ حول المفاهيم

8. يقاسُ ارتفاعُ الحصانِ أحيانًا بوحدةِ «الشِّبر». لماذا اعتُبِرَتْ هذه الوحدةُ معيارًا غيرَ دقيقٍ إلى أن تمَّ تعريفُها على النحوِ التالي: الشبر = 20 cm.

9. أوضحْ إيجابياتِ تعريفِ المترِ الرسميِّ على أنه المسافةُ التي يجتازُها الضوءُ خلالَ مدةٍ معيّنةٍ، بدلاً من أنه طولُ مِسْطرةٍ من معدنٍ خاصّ.

**10.** وضعَ أينشتاينُ المعادلةَ الشهيرةَ التالية: $E = mc^2$، حيثُ $m$ هي كتلةُ الجسمِ و $c$ هي سرعةُ الضوء. ما وحدةُ الكميةِ $E$ في النظامِ الدوليّ للوحدات؟

## مسائلُ تطبيقية

**11.** حوِّل كلاًّ من الوحداتِ التالية:

أ. 2 dm بوحدة mm

ب. 2 h 10 min بوحدة s

ج. 16 g بوحدة μg

د. 0.75 km بوحدة cm

هـ. 0.675 mg بوحدة g

و. 462 μm بوحدة cm

ز. 35 km/h بوحدة m/s (راجع المثال 1 (أ))

**12.** استعملْ بادئاتِ وحداتِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ المذكورةِ في **الجدول 4-1** (ص12) كي تحوِّلَ وحداتِ القياسِ الافتراضيةَ التاليةَ إلى كمياتٍ مناسبة:

أ. 10 حصص

ب. 2000 عصفور

ج. $10^{+6}$ نملة

د. $10^{+9}$ عنزة

هـ. $10^{18}$ ذرّة (راجع المثال 1 (أ).)

**13.** سرعةُ الضوءِ في الفراغِ، هي حوالي $3.00 \times 10^8$ m/s. احسبْ بوحدةِ km المسافةَ التي تجتازُها نبضةٌ من أشعةِ ليزر خلالَ ساعةٍ واحدة. (راجع المثال 1 (أ).)

**14.** يساوي الطنُّ $1.000 \times 10^3$kg، كمْ شخصًا يستطيعُ المصعدُ أن يَحملَ بأمانٍ إذا كانتْ حمولتُهُ القصوى طنًّا واحدًا، علمًا بأنَّ كتلةَ كلِّ شخصٍ 85 kg؟ (راجع المثال 1 (أ).)

# الدقةُ والضبطُ والأرقامُ المعنوية

## أسئلةُ مراجعة

**15.** هل يمكنُ لمجموعةٍ من القياساتِ أن تكونَ مضبوطةً لكن غيرَ دقيقة؟ اشرح.

**16.** كمْ رقمًا معنويًّا يوجدُ في القياساتِ التالية؟

أ. 300 000 000 m/s

ب. 25.030°C

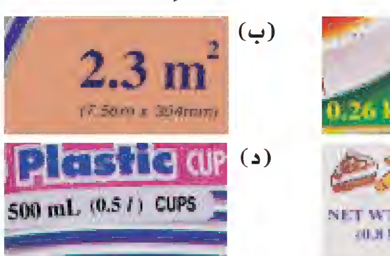
ج. 0.006 070°C

د. 1.004 J

هـ. 1.305 20 MHz

**17.** يُظهر **الشكلُ 15-1** صورًا لتحويلاتِ الوحداتِ معلّنةً على بعضِ السلع. تحقّقْ من دقةِ هذه التحويلات. هل استعملَ منتجو هذه السلعِ الأرقامَ المعنويةَ بشكلٍ صحيح؟




**الشكل 15-1**

**18.** من المعروف الآنَ أنَّ سرعةَ الضوءِ في الفراغِ $2.997\ 924\ 58 \times 10^8$ m/s. اكتبْ سرعةَ الضوءِ في صيغةٍ تتضمن:

أ. ثلاثةَ أرقامٍ معنوية

ب. خمسةَ أرقامٍ معنوية

ج. سبعةَ أرقامٍ معنوية

**19.** كم رقمًا معنويًّا يوجدُ في كلٍّ من القياساتِ التالية؟

أ. 78.9 ± 0.2 m

ب. $3.788 \times 10^9$s

ج. $2.46 \times 10^6$ kg

د. 0.0032 mm

**20.** نفِّذِ العملياتِ الحسابيةَ التالية:

أ. اجمعِ القياساتِ 756 g و 37.2 g و 0.83 g و 2.5 g

ب. اقسمْ 3.2 m على 3.563 s

ج. اضربْ π في 5.67 mm

د. اطرحْ 3.8 s من 27.54 s

**21.** اصطادَ صيّادٌ سمكتينِ طولُ الصغرى 93.46 cm (برقمين عشريين وأربعةِ أرقامٍ معنوية)، وطولُ الكبرى 135.3 cm (برقمٍ عشريٍّ واحدٍ وأربعةِ أرقامٍ معنوية). ما الطولُ الكلِّيُّ للسمكتين؟

**22.** يرغبُ مزارعٌ في معرفةِ محيطِ حقلٍ مستطيلِ الشكل. يقيسُ طولَه وعرضَه، ويجدُ أنَّ طولَ الحقلِ 38.44 m وعرضَهُ 19.5 m. ما محيطُ هذا الحقل؟

# التحليلُ البعديُّ وتقديرُ رتبةِ العِظَم

## أسئلةُ مراجعة

ملاحظة: عندَ حسابِ رتبةِ العِظَم، عليكَ أن تذكرَ ما هي افتراضاتُكَ الرئيسةُ بالإضافةِ إلى القيمةِ العدديةِ التي ستعطيها لكلٍّ من المتغيراتِ المستخدمةِ في الحل. لا تتفاجأ إذا اختلفتْ نتيجةُ عملِكَ عن نتائجِ زملائك.

**23.** نفترضُ أنَّ للكميّتينِ A، B أبعادًا مختلفة. أيٌّ من العملياتِ الحسابيةِ التاليةِ يمكنُ أن تكونَ ذاتَ معنًى فيزيائيّ؟

أ. A + B

ب. A / B

ج. A x B

د. A - B

**24.** قدِّرْ رتبةَ العِظَمِ بوحدةٍ مناسبةٍ لطولِ كلٍّ من الأشياءِ التالية:

أ. ذبابة

ب. رجلِك

ج. أبعادِ مبنى مدرستِك

د. زرافة

هـ. ارتفاعِ مئذنة

**25.** نفترضُ أنَّ لطرفي المعادلةِ الأبعادَ نفسَها، فهلْ يعني ذلكَ أنَّ المعادلةَ صحيحة؟

**26.** تعطي المعادلةُ التاليةُ نصفَ قطرِ الدائرةِ $r$ المحوَّطةِ بمثلّثٍ طولُ أضلاعِهِ $a$ و $b$ و $c$ :

$$r = \sqrt{\frac{(s-a)\,(s-b)\,(s-c)}{s}}$$

حيثُ: $s = (a + b + c) \div 2$ . تحقَّقْ من التجانسِ البعديِّ لهذهِ المعادلة.

**27.** يعرَّفُ الزمنُ الدوريُّ لبندولٍ بسيطٍ بأنهُ المدةُ اللازمةُ لاهتزازةٍ كاملة. تعطي المعادلةُ الآتيةُ الزمنَ الدوريَّ $T$ لبندولٍ بسيط:

$$T = 2\,\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

حيثُ $L$ طولُ البندولِ و $g$ تعجيلُ الجاذبيةِ الذي يقاسُ بوحدةِ الطولِ مقسومةً على مربَّعِ وحدةٍ للزمن. تحقّقْ من التجانسِ البعديِّ لهذهِ المعادلة.

## أسئلةٌ حول المفاهيم

**28.** في محاولةٍ لحلِّ إحدى مسائلِ الامتحانِ استعملَ أحدُ المتعلِّمين المعادلةَ التالية:

(السرعةُ بوحدة $m/s$)$^2$ = (التعجيلُ بوحدة $m/s^2$) × (الزمنُ بوحدة s)

استعملِ التحليلَ البعديَّ للتحققِ من سلامةِ المعادلة.

**29.** قدِّر كمْ مرةً يتنفسُ الإنسانُ في مدى حياتِه، مفترضًا أنَّ متوسطَ عمرِهِ سبعونَ عامًا.

**30.** قدِّرْ كمْ مرةً يَنبضُ قلبُكَ في اليومِ الواحد.

**31.** قدِّرْ عمرَك بوحدةِ الثانية (s).

**32.** ذكَرَ إعلانٌ لنوعٍ من إطاراتِ السياراتِ أنَّ هذا النوعَ يصلُحُ لقطعِ مسافةِ 100 000 km. قدِّر عددَ دوراتِ العجلةِ خلالَ مدةِ استعمالِها. افترضْ أن نصفَ قطرِ العجلةِ 0.3 m.

**33.** تخيَّلْ أنكَ مديرُ التجهيزِ في نادٍ لمحترفي كرةِ القدم. من مهامِّكَ تأمينُ العددِ اللازمِ من الكرات. بعضُ الكراتِ معرَّضةٌ لأنْ تصبحَ غيرَ صالحةٍ، أو تضيعَ في أثناءِ التدريبِ أو المباريات.

قدِّرْ عددَ الكراتِ التي عليكَ شراؤها في كلِّ عامٍ إذا كانَ على الفريقِ أن يلعبَ 18 مباراةً خلالَ الموسم. (افترضْ تلفَ أو فقدانَ 5 كراتٍ في كلِّ مباراة.)

**34.** أعلنَ أحدُ مطاعمِ الوجباتِ السريعةِ المعدَّةِ من اللحوم أنهُ قد باعَ أكثرَ من 50 مليارَ وجبةٍ منذُ إنشائِه. قدِّرْ بوحدةِ الكيلوغرام (kg) كتلةَ اللحومِ التي استعملتْ في تحضيرِ هذا العددِ من الوجباتِ، وعددَ الأبقارِ التي ذُبحتْ لتوفيرِ كميةِ اللحومِ اللازمة.

**35.** قدِّرْ عددَ كراتِ الطاولةِ اللازمةِ لملءِ غرفةٍ طولُها 4 m، وعرضُها 4 m، وارتفاعُها 3 m. افترضْ أنَّ قطرَ كرةِ الطاولةِ هو 3.8 cm.

# مراجعةٌ عامة

**36.** احسبْ محيطَ ومساحةَ الدائرتينِ التاليتينِ (استعملِ المعادلتينِ التاليتين: المحيط = $2\,\pi r$ والمساحة = $\pi r^2$).

أ. دائرةٌ نصفُ قطرِها 3.5 cm

ب. دائرةٌ نصفُ قطرِها 4.65 cm

**37.** ما المدةُ التي يستغرقُها عدُّ مبلغِ 5 مليارات دينار، القطعةُ النقديةُ من فئةِ 500 دينار، على افتراضِ أنَّ عدَّ ورقةِ نقودٍ واحدةٍ يستغرقُ ثانيةً، وأنَّ النومَ والطعامَ يستغرقانِ عشرَ ساعاتٍ يوميًّا.

**38.** يُصنَعُ أحدُ أنواعِ المثلّجاتِ على شكلِ مكعّبات، حجمُ كلِّ أربعةٍ منها $3.786 \times 10^{-3}\ m^3$ . ما طولُ كلِّ جهةٍ من جهاتِ الوعاءِ الذي يوضعُ فيه المكعَّب؟

**39.** تستطيعُ الحصولَ على رتبةِ العِظَم لحجمِ الجزيءِ بوساطةِ التجربةِ البسيطةِ التالية، انثرْ نقطةً من الزيتِ على سطحِ مساحةٍ كبيرةٍ من الماء. افترضْ أن سُمكَ طبقةِ الزيتِ تساوي قطرَ جزيءٍ واحدٍ، وأنَّ كتلةَ نقطةِ الزيتِ هي $9.00 \times 10^{-7}$ kg ، وأنَّ كثافةَ الزيتِ هي $918\ kg/m^3$ ، وأنَّ نقطةَ الزيتِ تنتشرُ على شكلِ دائرةٍ نصفُ قُطرِها 41.8 cm. ما القيمةُ التقريبيّةُ لقطرِ جُزَيْءِ الزيت؟

**40.** يسقطُ في الثانيةِ على كلِّ مترٍ مربَّعٍ من سطحِ القمرِ نيزكٌ مجهريٌّ قطرهُ $1.0 \times 10^{-6}$ m. يلزمُ إذنْ عدَّةُ سنوات لتكوينِ طبقةٍ من هذهِ النيازكِ على سطحِ القمرِ سُمكُها 1.0 m. لنفترضْ أنَّ علبةً مكعَّبةَ الشكل، طولُ ضلعِها 1.0 m، موجودةٌ على سطحِ القمر، فما المدةُ اللازمةُ لملءِ هذه العلبةِ بالنيازكِ المجهرية؟

**41.** كتلةُ السنتيمترِ المكعَّبِ الواحدِ ($1.0\ cm^3$) من ماءٍ على حرارةِ 25°C تساوي $1.0 \times 10^{-3}$ kg. احسب كتلةَ $1.0\ m^3$ من هذا الماءِ عند 25°C.

**42.** لنفترضْ أنَّ الماءَ يشكلُ 90% من الموادِّ الحيَّةِ، وأنَّ كثافةَ الماءِ هي $1.0 \times 10^3\ kg/m^3$.

إذا علمتَ أنَّ الكتلةَ = الحجم x الكثافة، فما مقدارُ الكتلة لـ:

أ. خليةٍ كرويةِ الشكلِ قطرُها $1.0\ \mu m$؟ (الحجم = $\frac{4}{3}\pi r^3$)

ب. ذبابةٍ ذاتِ شكلٍ أسطوانيٍّ طولُها 4.0 mm وقطرُها 2.0 mm؟ (الحجم = $l\pi r^2$)

**43.** تبلغُ كتلةُ الكوكبِ زُحل $5.68 \times 10^{26}$ kg، ونصفُ قطرِهِ $5.85 \times 10^7$ m، فما:

أ. كثافةُ هذا الكوكبِ (حاصلُ قسمةِ كتلتِهِ على حجمه) بوحدةِ $g/cm^3$؟ (حجمُ الكرة = $\frac{4}{3}\pi r^3$)

ب. مساحةُ سطحِ هذا الكوكبِ بوحدةِ $m^2$؟ (مساحةُ سطحِ الكرة = $4\pi r^2$)

## المشاريع والتقارير

## تقويمُ الأداء

**1.** هل تستطيعُ أن تقيسَ كتلةَ قطعةِ نقودٍ معدنيّةٍ بوساطةِ ميزانِ الحمَّام؟ سجِّلْ قياسَ كتلةِ عددٍ من قطعِ النقود. اقسِمْ بعدَ ذلكَ هذا القياسَ على عددِ القطعِ النقودِ لتحصُلَ على قيمةٍ تقريبيةٍ لكتلةِ القطعةِ الواحدة. اتَّبعْ قواعدَ الأرقامِ المعنويةِ في هذهِ الحسابات. كرِّرْ هذهِ الخطواتِ مستعملاً أعدادًا مختلفةً من القطعِ النقود. أيُّ تقديرٍ برأيكَ هو الأدقّ؟ أي تقديرٍ هو الأكثرُ ضبطًا؟

## تقويمُ الملف

**2.** ابحثْ عن اسمِ العالِمِ الذي نالَ جائزةَ نوبلَ للفيزياءِ في العامِ الماضي وعن أعمالِه. واكتبْ بحثًا حولَ تاريخِ الجائزةِ ذاكرًا مؤسِّسَها، وسببَ تأسيسِها ومَنْ يمنحُها وأينَ تُمنح. وثِّقْ بحثَكَ في ملفٍّ أو ملصقٍ واعرضْهُ مستعملاً الحاسوب.

**3.** لديك ساعةٌ مزودةٌ بعقربٍ للثواني، ومسطرةٌ مدرَّجةٌ بالمليمتر (mm)، وأسطوانةٌ مرقمةٌ بالمليلتر (ml) وميزانٌ حساسٌ حتى 1 mg. كيفَ يمكنُكَ أن تقيسَ ما يلي: كتلةَ قطرةٍ من الماء، الزمنَ الدوريَّ لحركةِ أرجوحةٍ، حجمَ مشبكِ ورق؟ كيفَ تزيدُ من دقَّةِ قياساتِك؟ اكتبِ الإجراءاتِ اللازمةَ بوضوحٍ كي يستعملها زميلٌ لكَ في الحصولِ على نتائجَ معقولة.

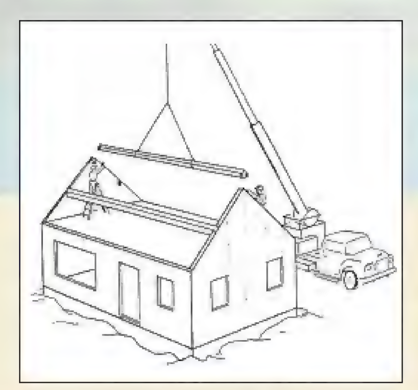
**4.** حضِّرْ ملصقًا أو شكلاً آخرَ للعرضِ تصفُ فيهِ المدى الممكنَ لقياسِ أحدِ الأبعادِ، كالمسافةِ أو الزمنِ أو درجةِ الحرارةِ أو السرعةِ أو الكتلة. أعطِ أمثلةً يجري فيها التدرجُ من القياساتِ الكبيرةِ جدًّا حتى القياساتِ الصغيرةِ جدًّا، على أن يكونَ من بينِ هذهِ الأمثلةِ ما اختبرتَهُ بنفسِك.


K. S. Plant Ltd.

# الفصــــل 2

# قوَّةُ تحمُّلِ الأجسامِ الصلبة

# *Strength of Solids*



تتكوَّنُ الرافعةُ التي نستخدمُها لنقلِ الأجسامِ الثقيلةِ من أسلاكٍ أو سلاسلَ معدنيَّةٍ قويَّةٍ تُربطُ الأجسامُ بطرفِها السفليِّ. علينا أن نتحقَّقَ قبلَ نقلِ أيِّ جسمٍ ثقيلٍ بوساطةِ الرافعةِ من أنَّ هذه الأسلاكَ أو السلاسلَ قادرةٌ على رفعِ الأوزانِ الثقيلةِ دون أن تنقطعَ.

## ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

تتعرَّفُ في هذا الفصلِ إلى حالاتِ المادَّةِ وخصوصًا الحالةَ الصُّلبةَ. كما تتعلَّمُ بعضَ الخصائصِ الميكانيكيَّةِ للأجسامِ الصلبةِ، كالمرونةِ ومقاومةِ الشدِّ.

## ما أهمِّيَّتُهُ

مع أنَّك تحتاجُ إلى الهواءِ والماءِ للتنفُّسِ والشربِ، فإنَّ للأجسامِ الصلبةِ أهميَّةً كبرى في حياتِك. فمن الأجسامِ الصلبةِ تصنعُ المسكنَ والملبسَ وأدواتِ النقلِ وغيرَها. كما أنَّك تعيشُ على الجزءِ الصلبِ من سطحِ الأرضِ.



## محتوى الفصل 2

## القسم 1-2

# حالاتُ المادَّةِ والقُوى بينَ جُزيئاتِها

## *Phases of Matter and Forces Among their Molecules*

### 1-2 مؤشّراتُ الأداءِ

- يصنِّفُ الموادَّ إلى أجْسامٍ صُلبةٍ وسائلةٍ وغازيَّةٍ وبلازما.
- يميِّزُ قوَّتَي التنافرِ والتجاذبِ بينَ ذرّات المادَّةِ.

**الحالة**

الطورُ الذي تكونُ فيه المادَّةُ صلبةً أو سائلةً أو غازيَّةً أو بلازما.

**البلازما**

حالةٌ من حالاتِ المادَّةِ تتحقَّقُ عند درجاتِ حرارةٍ مرتفعة.

## حالاتُ المادَّةِ

تعلَّمْتَ في مراحلَ سابقةٍ أنَّ للمادَّة ثلاثَ **حالاتٍ** phases: صلبةٌ وسائلةٌ وغازيَّةٌ. إلاّ أنّ بعضَ الموادِّ لا يمكنُ تصنيفُها بشكلٍ واضحٍ في إحدى هذه الحالاتِ، لا سيّما تلك التي تتكوَّنُ من أنواعٍ متعدِّدةٍ من الجزيئاتِ. فالزبدةُ مثلاً ليسَ لها درجةُ حرارةِ انصهارٍ محدَّدةٍ. فكلَّما ارتفعَتْ درجةُ حرارتِها تصبحُ أكثر طراوةً، وأقربُ إلى الحالةِ السائلةِ. لذلك يصعبُ تصنيفُ الزبدةِ الطريَّةِ كجسمٍ صلبٍ أو سائلٍ.

هناك حالةٌ رابعةٌ للمادَّةِ تتحقَّقُ عند درجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ، تُسمّى **البلازما** plasma. تتكوَّنُ هذه الحالةُ من أنويةٍ وإلكتروناتٍ تتحرَّكُ بسرعاتٍ عاليةٍ ولا تترابطُ، عندَ درجاتِ الحرارةِ المنخفضةِ. وبما أنّ درجةَ حرارةِ النجومِ مرتفعةٌ جدًّا، وتشكِّلُ كتلتُها معظمَ كتلةِ الكونِ، فقد قدَّرَ العلماءُ أنَّ %90 من مادَّةِ الكونِ هي بلازما.

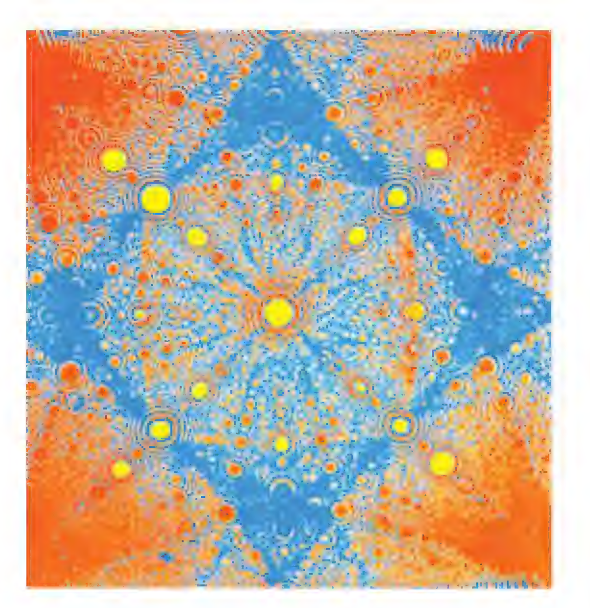
موادُّ كثيرةٌ توجدُ في كلٍّ من الحالاتِ الثلاثِ. فالثلجُ مثلاً يمكنُ صهرُهُ ليصبحَ ماءً كذلك يمكنُ غليُ الماءِ ليصبحَ بخارًا غازيًّا. يمكنُ تحويلُ المادَّةِ من حالةٍ إلى حالةٍ بإعطائِها طاقةً حراريَّةً أو ميكانيكيَّةً، وذلك بتغييرِ ضغطِها أو درجةِ حرارتِها، كما سنرى تفصيلَ ذلك في فصلٍ لاحقٍ.

تتكوَّنُ المادَّةُ، بغضِّ النظرِ عن حالتِها، من ذرّاتٍ وجزيئاتٍ. علماءُ كثيرون ساهموا عَبْرَ العصورِ في تطويرِ هذَيْنِ المفهومَيْنِ. وكان دالتون أوَّلَ من افترضَ أنَّ أيًّا من عناصرِ المادَّةِ يتكوَّنُ من ذرّاتٍ متماثلةٍ. كما ساهمَتِ التجاربُ التي قامَ بها أفوغادرو وغاي-لوساك على الغازاتِ، في إثباتِ حدوثِ تفاعلاتٍ كيميائيَّةٍ بين مكوِّناتِ المادَّةِ.

من أجلِ فهمِ النسَبِ التي تتفاعلُ فيها مكوِّناتُ المادَّةِ، قامَ العلماءُ بتعريفِ كميّاتٍ جديدةٍ، لتحديدِ كُتلِ هذه المكوِّناتِ وعددِها. من هذه الكميّات:

- المول (mol): وهو كميَّةُ المادَّةِ التي تتضمَّنُ العددَ نفسَه من المكوِّناتِ الموجودةِ في 0.012 kg من الكربونِ-12 ($^{12}C$).
- الكتلةُ الذريَّةُ الثابتةُ الموحَّدةُ (atomic mass unit): هي كتلةُ ذرَّةٍ واحدةٍ من ذرّاتِ كربون-12 مقسومةً على 12. وقيمتُها في نظامِ SI العالمي $1\ u = 1.66 \times 10^{-27}\ kg$.
- الكتلةُ الموليَّةُ (molar mass $M_m$): هي كتلةُ مولٍ واحدٍ من أيِّ مادَّةٍ، وتُقاسُ بـ ($kg\ mol^{-1}$).
- الحجمُ الموليُّ (molar volume $V_m$): هو حجمُ مولٍ واحدٍ من أيِّ مادَّةٍ، ويُقاس بـ ($m^3\ mol^{-1}$).
- ثابتُ أفوغادرو (Avogadro constant $N_A$): هو عددُ الذرّاتِ في مولٍ واحدٍ من 0.012 kg من كربون-12، وقيمتُهُ $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

تتكوَّنُ بعضُ العناصرِ في الطبيعةِ من ذرّاتٍ مستقلّةٍ كما في حالةِ الغازاتِ الخاملةِ كالنيون والهيلوم. أمّا مكوِّناتُ الكثيرِ من العناصرِ الأخرى، فهي جزيئاتٌ يتكوَّنُ كلٌّ منها من عدَّةِ ذرّات. فكلٌّ من الأكسجينِ والهيدروجين مثلاً يتكوَّنُ من جزيئاتٍ يتضمَّنُ كلٌّ منها ذرَّتَيْن يربطُ بينَهما رابطٌ كيميائيٌّ معيَّن.



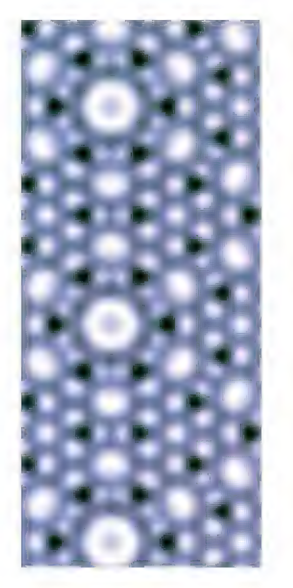
**الشكل 1-2**

صورةُ مجهرٍ إلكترونيٍّ شديدُ التفريقِ لسطحِ بلّورةِ سيليكونٍ مكبَّرةٍ 000 5000 مرَّة.

## قُوى الربطِ بينَ جُزيئاتِ المادَّةِ

يتعيَّنُ على أيِّ نظريَّةٍ تتناولُ التركيبَ الذرّيَّ للمادَّةِ أن تبرِّرَ وجودَ بعضِ الموادِّ في الحالةِ الصلبةِ، وبعضِها في الحالةِ السائلةِ، وبعضِها الآخرِ، في الحالةِ الغازيَّةِ. إنَّ تصوُّرَ جسيماتِ المادَّةِ في حركةٍ سريعةٍ ودائمةٍ يفسِّرُ وجودَ الحالةِ الغازيَّةِ، لكن يصعبُ استعمالُ التصوُّرِ نفسِه لتفسيرِ الحالةِ الصلبةِ للمادَّةِ. لا تبدو الذرّاتُ الظاهرةُ في **الشكلَيْن 1-2** و **2-2** أنَّها في حركةٍ سريعةٍ، لأنَّ صورتَها ليست مغشّاةً كصورِ الأجسامِ التي تتحرَّكُ بسرعاتٍ مرتفعةٍ.

يحلُّ هذا التناقضَ فهمُ التأثيرَيْن المتعاكسَيْن على ذرّات وجزيئاتِ أيٍّ من الموادِّ. فمن جهةٍ تؤدّي حركةُ هذه الجسيماتِ إلى طاقةٍ حركيَّةٍ، ومن جهةٍ أخرى فإنَّها تتجاذبُ فيما بينها. لهذا السببِ تبدو الذرّاتُ في **الشكلَيْن 1-2** و **2-2** متقاربةً جدًّا، وتتَّخذُ فيما بينها شكلاً منتظمًا. ولمّا كانت هذه الذرّاتُ تتجاذبُ فيما بينها، فهي تحتاجُ إلى طاقةٍ كامنةٍ للفصلِ بينها.



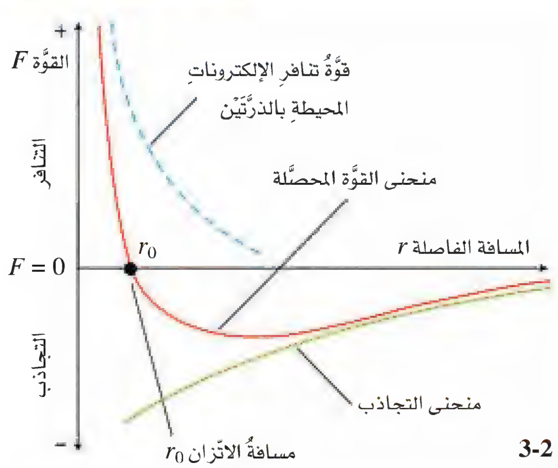
**الشكل 2-2**

صورةٌ لذرّاتِ البلاتينِ مكبَّرةٌ 000 200 مرَّة.

على غيرِ حالةِ الغازاتِ، يصعبُ ضغطُ السوائلِ والأجسامِ الصلبةِ، لتقليصِ حجمِها. فجسيماتُ السوائلِ والموادِّ الصلبةِ متقاربةٌ، ما يستدعي قوًى كبيرةً جدًّا لتقريبِها أكثر. يصعبُ تقاربُ الذرّاتِ المتجاورةِ تقاربًا شديدًا بسببِ الإلكتروناتِ المحيطةِ بكلٍّ منها، والتي تتنافر.

يوجدُ بين أيِّ ذرَّتَيْنِ من ذرّاتِ المادَّةِ قوَّةُ تجاذبٍ ناتجةٌ من ترابطِهما، حتى وإن كانتا غيرَ مشحونَتَيْن. إذا كانتِ الذرّتانِ متباعدتَيْن جدًّا، تكون قوَّةُ التجاذبِ هذه ضعيفةً جدًّا. لكن إذا كانتِ الذرّتانِ متقاربتَيْن فإنَّهما تتجاذبان. لكنْ متى أصبحتِ المسافةُ بين الذرَّتَيْن صغيرةً جدًّا، وأصبحتا متلاصقتَيْن عمليًّا، فإنَّ الإلكتروناتِ حولَ كلٍّ منهما تنشئُ قوَّةَ تنافرٍ. لذلك تتجاذبُ الذرّتانِ القريبتانِ وتتحرَّكان معًا، لكن بالحدِّ الذي تسمحُ به الإلكتروناتُ المحيطةُ بكلٍّ منهما، وتكونُ الذرّتانِ في حالةِ اتّزانٍ لأنَّ محصِّلةَ القوى المؤثِّرةِ على أيٍّ منهما تصبحُ صفرًا. إذا حاولَتِ الذرّتانِ التباعدَ، فإنَّ قوَّةَ التجاذبِ تمنعُ ذلك. وإذا حاولتا التقاربَ أكثرَ، فإنَّ قوَّةَ تنافرِ الإلكتروناتِ تمنعُهما من ذلك أيضًا.

يوضحُ **الشكلُ 3-2** كيفيَّةَ اعتمادِ القوَّةِ بين ذرَّتَيْن أو جزيئَيْن على المسافةِ الفاصلةِ بينَهما.




**الشكل 3-2**

يمكنُ أن يُفهمَ منحنى مقدارِ القوَّةِ كجزيئيْن منفصلَيْن: منحنى تجاذبٍ ضعيفٍ ناتجٍ عن ترابطِهما ومنحنى تنافرٍ قويٍّ لكن قصيرِ المدى ناتجٍ من تجاذبِ الإلكتروناتِ عندما تكونُ الذرّاتُ متقاربةً جدًّا (أقربَ من مسافةِ الاتّزان).

لذلك يُظهرُ منحنى القوَّةِ تنافرًا في المدى القريبِ، وتجاذبًا في المدى البعيدِ. يكونُ موقعُ اتّزانِ الذرَّتَيْنِ في نقطةِ تقاطعِ الجزيئَيْنِ عند الاتّزانِ، حيث تكونُ القوَّةُ صفرًا. وتكونُ مسافةُ الاتّزانِ هذه متوسِّطَ المسافةِ بين ذرّاتِ المادَّةِ أو جزيئاتِها.

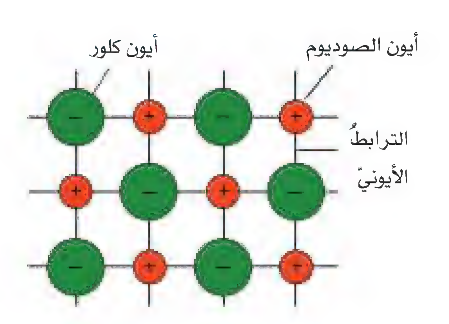
بالعودةِ إلى قوَّةِ تجاذبِ الذرّاتِ في المدى البعيدِ، فإنَّ هذه القوَّةَ ناتجةٌ من الشحناتِ الموجبةِ والسالبةِ على الذرّاتِ، حتى ولو كانتْ كلُّ ذرَّةٍ على حدةٍ متعادلةً كهربائيًّا. وتشكِّلُ هذه القوَّةُ **ترابطًا** bond بين الذرّاتِ منها:

**الترابط**

قوَّةٌ تؤدّي إلى تجاذبِ ذرّاتِ المادَّةِ، ناتجةٌ عن التأثيرِ المتبادَلِ بين الشحناتِ الموجبةِ والسالبةِ عليها.

## الترابطُ الأيونيّ

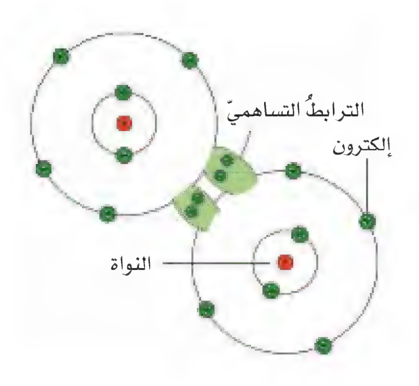
يتشكَّلُ هذا الترابطُ في موادَّ مثل كلوريدِ الصوديوم، حيث يتكوَّنُ كلُّ جزيءٍ من ذرَّةِ صوديومٍ وذرَّةِ كلور. يكونُ لذرَّةِ الصوديومِ غيرِ المشحونةِ إلكترونٌ منفردٌ في المدارِ الثالثِ، في حينِ أنَّ المدارَيْنِ الأوَّلَ والثاني يكونانِ مملوءَيْنِ بالإلكتروناتِ. أمّا ذرَّةُ الكلور فإنَّها تحتاجُ إلى إلكترونٍ واحدٍ لكي يصبحَ مدارُها الثالثُ مليئًا بالإلكتروناتِ. وبما أنَّ الذرّاتِ تفضِّلُ المداراتِ المملوءةَ فإنَّ ذرَّةَ الصوديومِ تميلُ إلى التخلّي عن إلكترونِها المنفردِ وإعطائِه لذرَّةِ الكلور. بذلك تصبحُ ذرَّةُ الصوديومِ أيونًا موجبًا، وذرَّةُ الكلور أيونًا سالبًا. ويتشكَّلُ بينَهما ترابطُ قوَّةٍ يُسمّى الترابطَ الأيونيَّ كما في **الشكلِ 4-2**.




**الشكل 4-2**
الترابطُ الأيونيّ

## الترابطُ التساهميّ

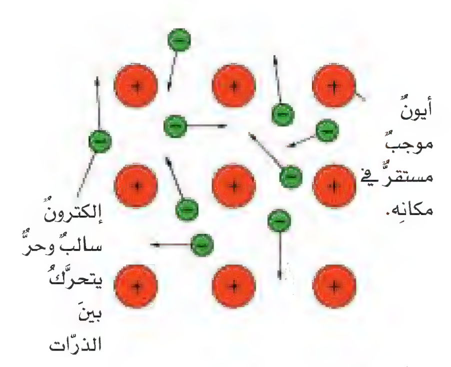
عندما لا يكونُ بمقدورِ الذرّاتِ أخذُ إلكترونٍ لملءِ مدارِها، تتشاركُ الإلكتروناتُ فيما بينَها وَفقَ ترابطٍ يُسمّى الترابطَ التساهميّ. ففي حالةِ جزيءِ الأكسجينِ مثلاً، كما في **الشكلِ 5-2**، يكونُ لكلِّ ذرَّةِ أكسجينٍ ثمانيةُ إلكتروناتٍ، اثنان منها في المدارِ الأوَّلِ، وستَّةٌ في المدارِ الثاني. فإذا شاركَتْ كلُّ ذرَّةٍ جارتَها بإلكترونَيْنِ من إلكتروناتِها الخارجيَّةِ، يصبحُ المدارُ الخارجيُّ لكلِّ ذرَّةٍ ممتلئًا بالإلكتروناتِ. يُسمّى الترابطُ بين أيِّ إلكترونٍ مشاركٍ وإلكترونٍ آخرَ من الذرَّةِ الثانيةِ بالترابطِ التساهميّ.




**الشكل 5-2**
الترابطُ التساهميُّ في جزيءِ الأكسجين.

## الترابطُ المعدنيّ

في المعادنِ، تفقدُ الذرّاتُ إلكتروناتِها في المداراتِ الخارجيَّةِ. بذلك تنتقلُ الإلكتروناتُ بحريَّةٍ داخلَ المعدنِ، فتصبحُ الذرّاتُ بذلك أنويةً موجبةً. تستقرُّ هذه الأنويةُ في أماكنِها نتيجةً للقوى الكهربائيَّةِ بين الأنويةِ الموجبةِ والإلكتروناتِ السالبةِ المحيطةِ بها. يُسمّى الترابطُ في هذه الحالةِ بالترابطِ المعدنيِّ، كما في **الشكلِ 6-2**.




**الشكل 6-2**
الترابطُ المعدنيّ

## الفيزياءُ والحياة

m1 m2

### الكُتلتانِ والنابضُ

افترضْ أنَّ لديكَ كتلتَيْنِ موصولَتَيْنِ بنابضٍ مرنٍ موضوعتَيْنِ على طاولةٍ أفقيَّةٍ.

تكونُ الكتلتانِ في حالةِ اتِّزانٍ إذا كان لنابضٍ طولُهُ الطبيعيُّ. إذا قمْنا بضغطِ الكتلتَيْنِ إحداهما باتِّجاهِ الأخرى فإنَّ قوَّةَ تنافرٍ تنشأُ في النابضِ وتحاولُ إبعادَهما نحوَ موقعِ الاتِّزانِ مرَّةً أخرى. لكن إذا حاولنا إبعادَ الكتلتَيْنِ إحداهُما عن الأخرى فإنَّ القوَّةَ الناشئةَ في النابضِ تكونُ قوَّةَ تجاذبٍ هذه المرَّةَ، لتعيدَ الكرَّتيْنِ أيضًا باتِّجاهِ مركزِ الاتِّزانِ.

– ما وجهُ التشابهِ في هذا النظامِ ونظامِ ذرّتيْنِ من ذرّاتِ المادّة؟

## مثال 2 (أ)

### حالاتُ المادَّةِ والقوى بينَ جزيئاتها

**المسألة**

**قدِّرِ المسافةَ بينَ ذرَّتَيْنِ من ذرّاتِ مادَّةِ النحاس، علمًا بأنَّ الكتلةَ الموليَّةَ للنحاس $0.064\ kg$ وكثافتَه $8000\ kg/m^3$. افترضْ أنَّ ثابتَ أفوغادرو هو $6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.**

**الحــلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $M_m = 0.064\ kg$ $\quad \rho = 8000\ kg/m^3$

$N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$

**المجهول:** المسافة $\ell$ بين الذرَّتَيْن

**2. أخطِّط**

**أستعملُ قانون $V_m = \frac{M_m}{\rho}$ لإيجاد الحجم الذي يشغله مول واحد من النحاس.**

$$V_m = \frac{M_m}{\rho} = \frac{0.064\ kg}{8000\ kg/m^3} = 8.0 \times 10^{-6}\ m^3$$

**3. أحسبِ**

**لحسابِ الحجمِ الذي تشغلُهُ ذرَّةٌ واحدةٌ من ذرّاتِ النحاسِ، نقسمُ حجمَ المولِ على عددِ الذرّاتِ في المولِ الواحدِ، وهو ثابتُ أفوغادرو:**

$$V = \frac{V_m}{N_A} = \frac{8.0 \times 10^{-6}\ m^3}{6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}} = 1.33 \times 10^{-29}\ m^3$$

**أفترض أن $\ell$ متوسِّطَ مسافةٍ بين ذرّاتِ النحاسِ، فيكون حجمُ الذرَّةِ الواحدةِ:**

$$V = \ell^3$$

$$\ell = \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{1.33 \times 10^{-29}\ m^3} = \boxed{2.37 \times 10^{-10}\ m}$$

## تطبيق 2 (أ)

**حالاتُ المادَّةِ والقوى بين جزيئاتها**

**1.** تبلغُ مسافةُ الاتّزانِ بين إحدى ذرّاتِ عنصرٍ كيميائيٍّ والذرَّةِ المجاورةِ $1.2 \times 10^{-10}$ m. هل تكونُ القوَّةُ بينَ الذرَّتَيْنِ قوَّةَ تنافرٍ أم تجاذبٍ، عندما تكونُ المسافةُ بينهما:

أ. $1 \times 10^{-10}$ m؟

ب. $1.4 \times 10^{-10}$ m؟

**2.** ما أنواعُ الترابطاتِ الثلاثةِ بين ذرّاتِ الموادِّ؟ هل تنتجُ هذه الترابطاتُ من قوًى كهربائيَّةٍ، أم أنَّها ناتجةٌ من الكتلِ؟

## مراجعةُ القسمِ 2-1

**1.** هل يتمُّ انتقالُ الموادِّ من حالةٍ إلى حالةٍ، بسببِ تبادلِ الكتلِ أم الشحناتِ أم الطاقةِ؟ علِّلْ إجابتَك.

**2.** ينتجُ تنافرُ الذرّاتِ على المسافاتِ القريبةِ جدًّا من تفاعلٍ بينَ إلكتروناتِها. هل يكونُ هذا التنافرُ نتيجةً لصِغَرِ الإلكتروناتِ أم بسببِ كتلِها الصغيرةِ جدًّا أم شحناتِها المتشابهةِ؟ علِّلْ إجابتك.

**3.** علِّقْ على شكلِ منحنى القوَّةِ-المسافةَ بين الذرّاتِ في الحالاتِ الثلاثِ:

أ. $r \simeq r_0$

ب. $r \rightarrow 0$

ج. $r \rightarrow \infty$

**4.** كتلةُ مول الصوديومِ هي 22.98 g، ما حجمُه الموليُّ، إذا كانَتْ كثافتُه $9.71\ g/cm^3$ عندَ درجةِ حرارةِ 300 K؟

## القسم 2-2

# الأجسامُ الصلبةُ وخصائصُها

*Solids and its Properties*

**2-2 مؤشّراتُ الأداء**

- يصفُ تركيبَ الجزيئاتِ في الأجسامِ الصلبةِ.
- يميِّزُ بين جسوءةِ الأجسامِ الصلبةِ ومرونتِها.
- يميِّزُ بين الإجهادِ والمطاعةِ النسبيَّةِ اللذيْن تتعرَّضُ لهما الموادُّ.
- يعرِّفُ مُعاملَ يونغ.

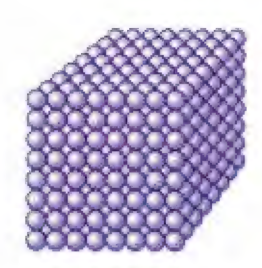
## تركيبُ الأجسامِ الصلبةِ

للأجسامِ الصلبةِ أشكالٌ ثابتةٌ تحافظُ عليها، ذلك أنَّها تتكوَّنُ من نماذجَ منتظمةٍ وثابتةٍ من الذرّاتِ أو الجزيئاتِ. تهتزُّ الجزيئاتُ حولَ مواقعِها في هذه النماذجِ، إلاّ أنَّ سَعةَ اهتزازِها تكونُ صغيرةً بالمقارنةِ مع المسافاتِ فيما بينها.

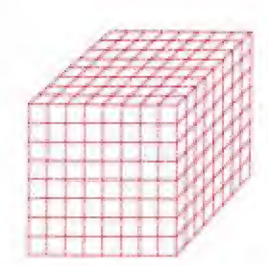
يعتمدُ ترتيبُ جزيئاتِ الأجسامِ الصلبةِ على الكثيرِ من العواملِ، منها: شكلُ الجزيءِ ومقدارُ قوّةِ التجاذبِ بين الجزيئاتِ ودرجةُ حرارةِ الجسمِ. فالكثيرُ من الأجسامِ الصلبةِ يختلفُ تركيبُ جزيئاتِها باختلافِ درجاتِ الحرارةِ. كما أنَّ الإجهادَ الذي يتعرَّضُ له الجسمُ الصلبُ يؤثّرُ في تركيبِ جزيئاتِه.

تعتمدُ خصائصُ الأجسامِ الصلبةِ على كيفيَّةِ تركيبِ جزيئاتِ المادَّةِ، وتأثيرِ هذا التركيبِ في كثافةِ المادَّةِ. لنفترضْ في حالةٍ بسيطةٍ أنَّ جزيئاتِ المادَّةِ عبارةٌ عن كراتٍ صلبةٍ مصفوفةٍ بشكلٍ مكعَّبٍ كما في **الشكل 2-7**. لتسهيلِ العمليّاتِ الحسابيَّةِ نفترضُ أنَّ كلَّ جزيءٍ يشغلُ حجمَ أحدِ الصناديقِ المكعَّبةِ في **الشكل 2-8**. يمكنُنا عندَها أن نقدِّرَ كثافةَ الجسمِ الصلبِ بقسمةِ كتلةِ كلِّ جُزيءٍ على حجمِه.

يجدرُ الذكرُ هنا أنَّ تركيباتِ الأجسامِ الصلبةِ ليسَتْ دائمًا بهذه الصورةِ المبسَّطةِ. فهناكَ أنواعٌ مختلفةٌ من التركيباتِ لجزيئاتِ الأجسامِ الصلبةِ. تحدِّدُ هذه التركيباتُ الخصائصَ الميكانيكيَّةَ والكهربائيَّةَ والحراريَّةَ والمغناطيسيَّةَ لتلك الأجسامِ.



**الشكل 2-7**
الذرّاتُ أو الجزيئاتُ ككُراتٍ في ترتيبٍ مكعَّبٍ.



**الشكل 2-8**
الذرّاتُ أو الجزيئاتُ كمُكعَّباتٍ صغيرةٍ في ترتيبٍ مكعَّبٍ.

## الخصائصُ الميكانيكيَّةُ للأجسامِ الصلبةِ

### الجُسوءة

ينصُّ أحدُ قوانينِ نيوتُن للحركةِ على أنَّ تطبيقَ قوّةٍ محصّلةٍ على جسمٍ يؤدّي إلى تسارُعِه. إلاّ أنَّ سكَّةَ القطارِ لا تتسارعُ إذا مرَّ القطارُ فجأةً وتعرَّضَتْ لوزنه. في هذه الحالةِ تبقى السكَّةُ في مكانِها ولا يبدو أنَّها تحرَّكَت. تُسمّى سكَّةُ القطارِ جسمًا **جاسئًا** rigid.

**الجاسئ**

الجسمُ الذي يحافظُ على شكلِه الثابتِ عند تطبيقِ القوى عليه.

الجسمُ الجاسئُ هو الجسمُ الذي يحافظُ على شكلِه الثابتِ عندَ تطبيقِ القُوى عليه، ولا يتغيَّرُ شكلُهُ كالغازاتِ والسوائلِ. جميعُ الأجسامِ الجاسئةِ هي أجسامٌ صلبةٌ، لكنَّ العكسَ ليس صحيحًا. يمكنُنا مثلاً تغييرُ شكلِ كمّيَّةٍ من السكَّرِ داخلَ كيسٍ، تحت تأثيرِ قوَّةٍ. فالسكَّرُ هنا جسمٌ صلبٌ، لكنَّه ليس جاسئًا. لكن، على الصعيدِ المجهريِّ، يؤدّي تطبيقُ قوَّةٍ كبيرةٍ على الجسمِ الجاسئِ إلى تقاربٍ أكثرَ بين جُزيئاتِه التي تقومُ بدورِها ببذلِ قوى تنافُرٍ فيما بينها، تؤدّي في النهايةِ إلى المحافظةِ على شكلِ الجسمِ. تؤدّي قوى

التنافرِ الناشئةِ بين جُزيئاتِ الجسمِ الجاسئِ إلى التقليل من أيِّ تسارعٍ لسكَّةِ القطارِ نحو الأسفل، فتكونُ المسافةُ التي تقطعُها السكَّةُ نزولاً صغيرةً، لكن يمكنُ ملاحظتُها لدى مرورِ القطارِ على السكَّةِ.

نحن في العادةِ نُهملُ هذه التحرُّكاتِ القليلة تحت تأثيرِ القوى، وبخاصَّةٍ عندَما نتعاملُ مع أجسامٍ جاسئةٍ. إلاَّ أنَّ هناك الكثيرَ من الأجسامِ التي يؤدّي تعرُّضُها للقوى إلى تشوُّهاتٍ واضحةٍ في أشكالِها. ففراشُ النوم مثلاً، يتغيَّرُ شكلُه بطريقةٍ واضحةٍ عند النومِ فوقَه، وهكذا يحدثُ لكرةِ المضربِ عندَ ارتطامِها بالمضربِ.

إذا كانَ باستطاعةِ الجسمِ، الذي يتعرَّضُ لتشوُّهٍ في شكلِه تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ معيَّنةٍ، أن يعودَ إلى شكلِهِ الأساسيِّ بعد إزالةِ القوَّةِ، يكونُ ذلك الجسمُ جسمًا مرنًا. لذلك تعرَّفُ **المرونةُ** elastisity بأنَّها قابليَّةُ الجسمِ للعودةِ إلى شكلِهِ الأساسيِّ بعد إزالةِ القوى عنه.

لندرسَ ثلاثةَ أمثلةٍ على تشوُّهاتٍ تحدثُ لأجسامٍ صلبةٍ. عند ارتطامِ كرةِ مضربٍ بمضربِ اللاعبِ يبدو التشوُّهُ واضحًا في شكلِها كما في **الشكل 2-9**، إلاّ أنَّها سرعان ما تستعيدُ شكلَها الأصليَّ بعد انتهاءِ التصادمِ. لذلك نعتبرُ الكرةَ جسمًا مرنًا. لكن عند سقوطِ قالبٍ فولاذيٍّ على الأرضِ فإنَّ التشوُّهَ الحادث في شكلِهِ يكونُ قليلاً جدًّا وتصعبُ ملاحظتُه، لأنَّ القالبَ الفولاذيَّ جسمٌ جاسئٌ.

لكن عند سقوطِ كتلةِ M على رأسِ نابضٍ مرنٍ، كما في **الشكل 2-10**، فإنَّه يهتزُّ عدَّةَ مرّاتٍ إلى أعلى وإلى أسفلَ، قبل أن يعودَ إلى شكلِهِ الطبيعيِّ بعد زوالِ الكتلةِ، أو يعودُ إلى طولٍ أقصرَ عند استقرارِها فوقَه. الشيءِ نفسُه يحدثُ إذا وضعْنا كتابًا فوقَ الطاولةِ. إلاّ أنَّ تشوُّهَ الطاولةِ يكونُ أقلَّ بكثيرٍ من تشوُّهِ النابضِ.

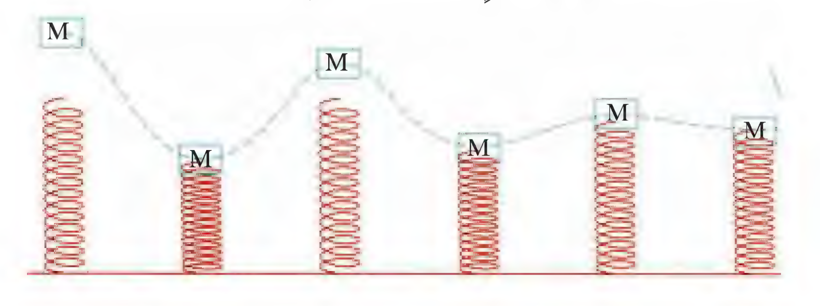
**المرونة**

قابليَّةُ جسمٍ للعودةِ إلى شكلِهِ الأساسيِّ بعد أيِّ تشوُّهٍ له تحت تأثيرِ قوَّةٍ.



**الشكل 2-9**

القوَّةُ الكبرى، التي تتعرَّضُ لها الكرةُ في أثناءِ التصادمِ، تؤدّي إلى تشوُّهٍ كبيرٍ ومرنٍ، سُرعانَ ما يزولُ بعد التصادمِ.




**الشكل 2-10**

اهتزازُ نابضٍ لدى سقوطِ كتلةِ M عليه.

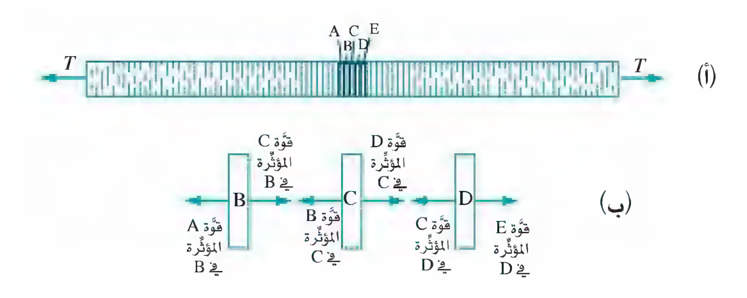
## قوَّةُ الشدِّ

إحدى خصائصِ الأجسامِ الصلبةِ إمكانيَّةُ استطالتِها أو انضغاطِها. عندما يتعرَّضُ سلكٌ لقوَّتَيْنِ عند طرفَيْه تؤدّيانِ إلى استطالتِه، نقولُ إنَّ السلكَ في حالةِ **شدٍّ** tension.

لنفترضْ أنّ سلكًا أفقيًّا يتعرَّضُ لقوَّتَيْنِ متعاكسَتَيْنِ ومتساويَتَيْنِ في المقدارِ $T$ عند طرفَيْه، كما في **الشكل 2-11** (أ) حيث يُشارُ إلى أجزاءٍ مختلفةٍ من السلكِ بالأحرفِ A و B و C و D و E كما في **الشكل 2-11** (ب).

**الشدّ** Tension (T)

القوَّةُ الناشئةُ في جسمٍ يتعرَّضُ لمحاولةِ استطالةٍ أو انضغاطٍ.



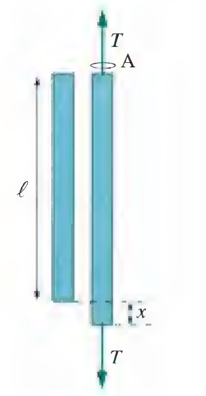

**الشكل 2-11**

يمكنُ التعاملُ مع سلكٍ مشدودٍ كأجزاءٍ متتاليةٍ A و B و C و D و E.

بما أنَّ كلّ جزءٍ من السلكِ في حالةِ اتّزانٍ، فإنَّ مجموعَ القوى المؤثِّرةِ فيه يكونُ صفرًا. وبتطبيقِ قانونِ نيوتنَ الثالثِ للفعل وردِّ الفعل، نلاحظُ أنَّ القوَّةَ التي تؤثِّرُ بها C على B تساوي تلك التي تؤثِّرُ بها C على B. يمكنُ تطبيقُ هذا المفهومِ على امتدادِ السلكِ، فتكونُ قوّةُ الشدِّ في السلكِ مساويةً لـ T، وهو مقدارُ أيٍّ من القوَّتَيْن المطبَّقتَيْن عند طرفَي السلكِ. فإذا افترضْنا أنَّ وزنَ السلكِ مهملٌ بالنسبةِ إلى القوَّتَيْن T، تكونُ قوّةُ شدِّ السلكِ هي T أيضًا، حتّى في حالتَي الشدِّ الرأسيِّ أو تسارعِ السلكِ.

**الإجهاد**

القوّةُ المطبَّقةُ على وحدةِ مساحةِ من مقطعِ سلكٍ.




**الشكل 12-2**

الإجهادُ الرأسيُّ لسلكٍ مساحةُ مقطعِه A يتعرَّضُ لقوَّةِ شدٍّ $T$ عموديّةٍ، على مساحةِ المقطع.

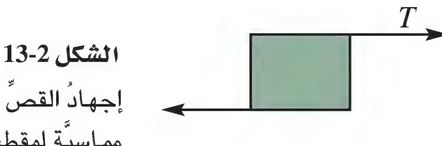
## الإجهاد

يُعرَّفُ **الإجهادُ** stress المطبَّقُ لإحداثِ استطالةٍ في سلكٍ بالقوّةِ المطبَّقةِ على وحدةِ مساحةٍ من مقطعِ السلكِ. ويُسمّى الإجهادُ أحيانًا بالمتانةِ، لأنَّ القوّةَ يمكنُ أن تطبَّقَ في اتّجاهاتٍ مختلفةٍ. في حالةِ الانضغاطِ يكونُ الإجهادُ إجهادًا انضغاطيًّا.

وحدةُ قياسِ الإجهادِ في نظامِ SI هي $N/m^2$، وهي وحدةُ قياسِ الضغطِ أي pascal. فعند تطبيقِ قوّةٍ T بشكلٍ عموديٍّ على سلكٍ مساحةُ مقطعِه A، يكونُ الإجهادُ $\sigma$ سيغما هو:

$$\sigma = \frac{T}{A}$$

في هذه الحالةِ التي يكونُ فيها اتّجاهُ القوّةِ المطبَّقةِ متعامدًا مع مساحةِ مقطعِ السلكِ، كما في **الشكل 12-2**، يكونُ الإجهادُ إجهادَ شدٍّ أو كبسٍ. لكن إذا كانتِ القوّةُ المطبَّقةُ مماسيَّةً لمساحةِ المقطعِ يُسمّى الإجهادُ إجهادَ قصٍّ كما في **الشكل 13-2**.




**الشكل 13-2**

إجهادُ القصِّ على قالبٍ يتعرَّضُ لقوّةِ $T$ مماسيَّةٍ لمقطعِه.

## المطاوعةُ النسبيَّةُ

عند تعرُّضِ نابضٍ مَرِنٍ لقوّةِ شدٍّ معيَّنةٍ، فإنَّه يتعرَّضُ لاستطالةٍ ما. نتيجةً لمرونةِ النابضِ يعودُ إلى طولِه الأصليِّ عند إزالةِ قوّةِ الشدِّ. لكن إذا كانتْ قوّةُ الشدِّ كبيرةً جدًّا، بحيث يتخطّى النابضُ حدودَ مرونتِه، فإنَّه يتعرَّضُ لتشوُّهٍ دائمٍ في لفّاتِه، ولا يعودُ إلى طولِه الأصليِّ. لقد أثبتَ روبرت هوك في القرنِ السابعَ عشرَ أنَّ الاستطالةَ الحاصلةَ في نابضٍ ما، تتناسبُ طرديًّا مع قوّةِ الشدِّ فيه، كما في **الشكل 14-2**.

$$T = k\,(\ell - \ell_0)$$

حيث $T$ قوّةُ الشدِّ في النابضِ، وتُقاسُ بـ N،

$(\ell - \ell_0)$ استطالةُ النابضِ وتُقاسُ بـ m،

$k$ ثابتُ جسوءَةِ النابضِ ويُقاسُ بـ N/m،

لكن عند تعرُّضِ سلكٍ معدنيٍّ لقوّةِ شدٍّ، فإنَّ استطالتَه تعتمدُ على عواملَ أخرى بالإضافةِ إلى الشدِّ. من هذه العواملِ نصفُ قطرِ مقطعِ السلكِ، وطولُه، ونوعُ المادّةِ المصنوعِ منها. يمكنُنا دراسةُ اعتمادِ استطالةِ السلكِ على أيٍّ من العواملِ بعد تثبيتِ العواملِ الأخرى.

T (N)

$(\ell - \ell_0)$ (m)

**الشكل 14-2**

قانونُ هوك الذي يشيرُ إلى تناسُبِ الاستطالةِ الحاصلةِ في نابضٍ مع قوّةِ الشدِّ فيه.

### نشاط عملي سريع

**المطاوعةُ النسبيَّةُ**

**الموادّ**

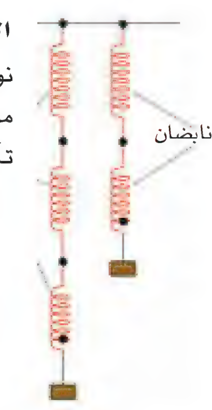
- ✓ رباط مطّاطي عدد 2
- ✓ مسطرة متريّة
- ✓ كتلة معيّنة

**إرشاداتُ السلامة**

ثبّت أحدَ طرفَي الرباطِ المطّاطيِّ وأمسكْ بالطرفِ الثاني ليصبحَ الرباطُ مستقيمًا. قسْ طولَه. علِّقِ الكتلةَ بالطرفِ الثاني ثم أفلتْه بهدوء. قس الطولَ النهائيَّ للرباطِ بعدَ الاستطالة. أعدِ المحاولةَ مستخدمًا الرباطَيْن معًا جنبًا إلى جنب. كيف تقارنُ المطاوعةَ النسبيَّةَ بين رباطٍ واحد ونظامٍ من رباطَيْن متوازيَيْن؟




**الشكل 2-15**
سلكانِ تحت تأثيرِ الوزنِ نفسِه.




**الشكل 2-16**
نوابضُ متواليةٌ موصولةٌ تحت تأثيرِ الوزنِ نفسِه.

افترضْ أنَّ سلكَيْنِ لهما المقطعُ نفسُه ومصنوعَيْنِ من المادَّةِ نفسِها، لكن بطولَيْنِ مختلفَيْنِ. نعلِّقُ وزنَيْنِ متساويَيْنِ من كلِّ سلكٍ كما في **الشكل 2-15**. أيٌّ من السلكَيْنِ تكونُ استطالتُه أطولَ؟ إنَّ مقارنةً نجريها مع حالةِ النوابضِ المتماثلةِ في **الشكل 2-16**، تفضي إلى الإجابةِ. يؤدّي تماثلُ النوابضِ إلى استطالةٍ أطولَ في المجموعةِ التي تشتملُ على عددِ نوابضَ أكبرَ. كما يؤدّي تعليقُ الوزنِ نفسِه من طرفِ كلِّ مجموعةٍ إلى استطالةٍ متساويةٍ في كلِّ نابضٍ. هذا يعني أنَّ استطالةَ مجموعةِ النوابضِ الثلاثةِ تُساوي مرَّةً ونصفًا استطالةَ مجموعةِ النابضَيْنِ.

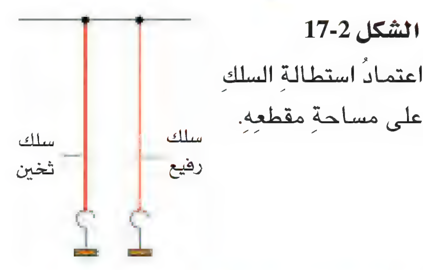
لذلك نستنتجُ أنَّ الأسلاكَ الأطولَ تتعرَّضُ لاستطالةٍ أكبرَ تحت تأثيرِ قوَّةِ الشدِّ نفسِها، إلاّ أنَّ الاستطالةَ في وحدةٍ من طولِ السلكِ تبقى ثابتةً.

نعرِّفُ المطاوعةُ النسبيَّةُ strain للسلكِ $\epsilon$ (أبسلون) بمقدارِ استطالتِه في وحدةِ الطولِ.

$$\epsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}$$

حيثُ $\ell - \ell_0$ مقدارُ استطالةِ السلكِ، و $\ell_0$ طولُه الأصليُّ. لاحظْ أنَّ $\epsilon$ ليسَ لها وحدةُ قياسٍ لأنَّها نسبةٌ لطولَيْنِ.

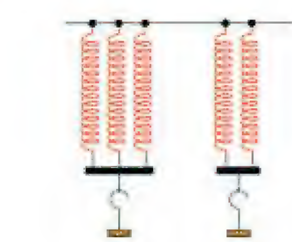
لندرسَ الآنَ اعتمادَ استطالةِ السلكِ على قطرِ مقطعِه. لنفترضْ أنَّ هناك سلكَيْنِ من المادَّةِ نفسِها لهما الطولُ نفسُه ومختلفَيْنِ في المقطعِ العرضيِّ وقوَّةُ الشدِّ نفسُها نتيجةَ لوزنَيْنِ متساويَيْنِ، كما في **الشكل 2-17**. أيٌّ من السلكَيْنِ سيتعرَّضُ لاستطالةٍ أطولَ؟




**الشكل 2-17**
اعتمادُ استطالةِ السلكِ على مساحةِ مقطعِه.

نقارنُ أيضًا مع نظامَيْنِ من النوابضِ المعلَّقِ بطرفِ كلٍّ منهما الوزنُ نفسُه، كما في **الشكل 2-18**. من الواضحِ أنَّ استطالةَ نظامِ النوابضِ الثلاثةِ أقلُّ من استطالةِ نظامِ النابضين. في كلِّ نظامٍ، تكونُ قوَّةُ الشدِّ في كلِّ نابضٍ مساويةً للوزنِ المعلَّقِ مقسومًا على عددِ النوابضِ. لذلك تكونُ قوَّةُ الشدِّ في كلِّ نوابضَ من نظامِ الثلاثةِ نوابضَ $\frac{mg}{3}$، أمّا قوَّةُ الشدِّ في كلِّ نابضٍ من نظامِ النابضين، فتكونُ $\frac{mg}{2}$. وبما أنَّ العلاقةَ بين قوَّةِ الشدِّ والاستطالةِ في كلِّ نابضٍ هي علاقةٌ طرديَّةٌ، فإنَّ استطالةَ نظامِ النوابضِ الثلاثةِ تبلغُ ثلثَي استطالةِ نظامِ النابضين.

لذلك تكونُ استطالةُ السلكِ الثخينِ أقلَّ من استطالةِ السلكِ الرفيعِ، تحتَ تأثيرِ الوزنِ نفسِه، لأنَّ الوزنَ يتوزَّعُ على مساحةٍ أكبرَ من مقطعِ السلكِ الثخينِ.



**الشكل 2-18**
نوابضُ متوازيةٌ تحتَ تأثيرِ الوزنِ نفسِه.

## معاملُ يونغ

عندَ تطبيقِ إجهادٍ على مادَّةٍ معيَّنةٍ، فإنَّها تتعرَّضُ لانفعالٍ يتناسبُ مع الإجهادِ المطبَّقِ شرطَ ألاّ يتجاوزَ الإجهادُ حدودَ العلاقةِ الطرديَّةِ.

نعرِّفُ **معاملَ يونغ** Young's modulus (E) بأنَّه نسبةُ الإجهادِ المطبَّقِ على مادَّةٍ معيَّنةٍ إلى المطاوعةِ الناتجةِ عنه.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{T/A}{\frac{(\ell - \ell_0)}{\ell_0}} = \frac{T\ell_0}{A(\ell - \ell_0)}$$

تكونُ وحدةُ قياسِ معاملِ يونغ في نظامِ SI ($N/m^2$)، وهي وحدةُ قياسِ الإجهادِ، لأنَّ المطاوعةَ نسبةٌ بين طولَيْنِ لا يكونُ لها وحدةُ قياسٍ.

**المطاوعةُ النسبيّةُ**

نسبةُ الاستطالةِ إلى الطولِ الأصليِّ.

**معاملُ يونغ**

نسبةُ الإجهادِ إلى المطاوعةِ في مادَّةٍ معيَّنةٍ.

## مثال 2 (ب)

**الأجسامُ الصلبةُ وخصائصُها**

### المسألة

**سلكٌ فولاذيٌّ قطرُه 0.40 mm، وطولُه الابتدائيُّ 2.0 m عُلّقَ رأسيًا من نقطةٍ ثابتةٍ. وعُلّقَ بطرفِهِ الثاني وزن 80 N. نتيجةً لذلك تعرَّضَ السلكُ لاستطالةِ 6.4 mm. احسُبْ معاملَ يونغ للمادَّةِ التي صُنِعَ السلكُ منها.**

### الحــلّ

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $d = 0.40 \text{ mm} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ $\qquad \ell_0 = 2.0 \text{ m}$ $\qquad T = 80 \text{ N}$

$\ell - \ell_0 = 6.4 \text{ mm} = 6.4 \times 10^{-3} \text{ m}$

**المجهول:** مُعامِل يونغ للمادَّة

**2. أخطِّط**

لحسابِ مُعاملِ يونغ أستعملُ التعريفَ.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{T\ell_0}{A(\ell - \ell_0)} = \frac{T\ell_0}{\pi r^2(\ell - \ell_0)}$$

**3. أحسب**

أعوِّضُ عن القيم في المعادلةِ فأحصلُ على:

$$E = \frac{80 \times 2.0}{\pi\left[\frac{4.0 \times 10^{-4}}{2}\right]^2 \times 6.4 \times 10^{-3}} = \boxed{2.0 \times 10^{11} \text{ Pa}}$$

## تطبيق 2 (ب)

**الأجسامُ الصلبةُ وخصائصُها**

1. سلكٌ معدنيٌّ قطرُه 1.0 mm وطولُه 2.3 m، مصنوعٌ من نحاسٍ له مُعامِل يونغ $1.1 \times 10^{11}$ Pa.
   أ. احسبْ مساحةَ مقطعِ السلكِ.
   ب. احسبِ المطاوعةَ في السلكِ إذا تعرَّضَ لاستطالة 0.85 mm.
2. في السؤالِ 1، احسبِ الإجهادَ الذي يتعرَّضُ له السلكُ، والقوَّةَ اللازمةَ لتحقيقِ هذا الإجهادِ.

## مراجعة القسم 2-2

1. ما مقدارُ المطاوعةِ الذي يتعرَّضُ له أنبوبٌ طولُه 0.4 m ضُغِطَ فَقَصُرَ طولُه 0.05 m؟
2. يتعرَّضُ سلكٌ معدنيٌّ لإجهاد $2 \times 10^7$ N/m². ما القوَّةُ المؤثِّرةُ في السلكِ، إذا كانَت مساحةُ مقطعِهِ 1.5 mm²؟
3. سلكٌ برونزيٌّ طولُه 2.5 m ومساحةُ مقطعِهِ $6.5 \times 10^{-7}$ m². ما مقدارُ استطالةِ السلكِ إذا سُحِبَ بقوَّةٍ مقدارُها $10^3$ N؟ معاملُ يونغ البرونز $2.0 \times 10^{11}$ N/m².

## نافذةٌ على الموضوع

# السلوكُ المرن والسلوكُ البلاستيكيُّ للموادّ

درسْنا أنَّ الإجهادَ الذي تتعرَّضُ له مادَّةٌ معيَّنةٌ يكونُ من الصغرِ بحيثُ تتناسبُ مطاوعةُ المادَّةِ النسبيَّةِ مع الإجهادِ المطبَّق. لكن هذا التناسبَ الطرديَّ بين الكمّيَّتَيْن يزولُ عند ارتفاعِ الإجهادِ وتجاوزِه حدًّا معيَّنًا. يوضِّحُ **الشكلُ 19-2** علاقةَ إجهادِ الشدِّ لسلكٍ بالمطاوعةِ نحاسيٍّ. تشيرُ القيمُ الواردةُ على المحورَيْن إلى قيمٍ نموذجيَّةٍ لأحدِ أنواعِ النحاس، ذلك أنّها تختلفُ من نوعٍ إلى آخرَ. تعتمدُ هذه القيَمُ على التركيبِ البلّوريِّ للنحاس، وعلى درجةِ حرارتِه، وعلى ما تعرَّضَ له مسبقًا. تُسمّى نهايةُ الجزءِ المستقيمِ من الشكلِ حدَّ التناسبِ، ويُشارُ إليه بالنقطةِ A. عند نقطةٍ مجاورةٍ لحدِّ التناسبِ تفقدُ المادَّةُ سلوكَها المرونيَّ، وتبدأُ سلوكَها البلاستيكيَّ. يُشارُ إلى هذه النقطةِ بالنقطةِ B، وتُسمّى حدَّ المرونة.

في حالةِ السلوكِ المرنِ، تعودُ المادَّةُ إلى شكلِها الأساسيّ عند إزالةِ قوَّةِ التشوُّهِ (بين النقطتَيْن 0 و A في **الشكل 19-2**). وفي حالةِ السلوكِ البلاستيكيِّ تُحدِثُ القوَّةُ المطبَّقةُ تشوُّهًا دائمًا لا تعودُ المادَّةُ بعدَه إلى شكلِها الأساسيِّ. معظمُ الموادِّ تتصرَّفُ بشكلٍ مرنٍ وتتعرَّضُ لتشوُّهٍ مؤقَّتٍ عند إجهاداتٍ قليلةٍ، بينما يصبحُ تشوُّهُها دائمًا وسلوكُها بلاستيكيًّا عند إجهاداتٍ مرتفعةٍ. من المهمِّ لدى المهندسينَ المدنيّينَ أن تؤدّيَ الأحمالُ التي تتعرَّضُ لها الجسورُ إلى تشوُّهاتٍ مؤقَّتةٍ فقط، تعودُ إلى حالتِها الأساسيَّةِ بعد زوالِ تلك الأحمال.

عند بلوغِ المادَّةِ الحدَّ البلاستيكيَّ، يصبحُ باستطاعةِ أيِّ إجهادٍ بسيطٍ أن يؤدّيَ إلى مطاوعةٍ نسبيَّةٍ كبيرةٍ جدًّا. تُسمّى المادَّةُ في هذه الحالةِ مادَّةً مَطيلةً (قابلةً للسحبِ والطرْقِ). ويصعبُ في هذه الحالةِ البلاستيكيَّةِ قياسُ المطاوعةِ لإجهادٍ معيَّنٍ.

الجزءُ الأخيرُ من **الشكل 19-2** غيرُ محدَّدٍ بالضبطِ لذلك تمَّ التعبيرُ عنه بخطٍّ متقطِّع. تشيرُ النقطةُ الأخيرةُ C من هذا الجزءِ إلى نقطةِ انقطاعِ السلكِ والإجهادِ المطلوبِ لذلك. يُعَدُّ إجهادُ القطعِ أقصى إجهادٍ يمكنُ تطبيقُه للمادَّةِ قبلَ انقطاعِ السلكِ. يشيرُ **الجدولان 1-2** و **2-2** إلى مُعاملِ يونغ وإجهادِ القطعِ لبعضِ الموادِّ.

**الجدول 1-2 مُعاملُ يونغ لبعضِ الموادّ**

| المادَّة | مُعامِلُ يونغ $(1 \times 10^{11}\ Pa)$ |
|---|---|
| الألمنيوم | 0.70 |
| النحاس | 1.1 |
| الحديد | 1.9 |
| الفولاذ | 2.1 |
| الزجاج | 0.55 |
| التنجستن | 4.1 |

**الجدول 2-2 إجهادُ القطعِ لبعضِ الموادّ**

| المادَّة | إجهادُ القطعِ $(1 \times 10^{8}\ Pa)$ |
|---|---|
| الألمنيوم | 2.2 |
| النحاس | 4.9 |
| الحديد | 3.0 |
| الفولاذ | 11.0 |
| الزجاج | 10 |
| التنجستن | 20 |



**الشكل 19-2**

تغيُّرُ إجهادِ الشدِّ في سلكٍ نحاسيٍّ بدلالةِ المطاوعةِ النسبيَّة.

# ملخَّصُ الفصل 2

## أفكارٌ أساسيَّة

### القسم 2-1 حالات المادّة والقوى بين جُزيئاتِها

- للمادَّةِ ثلاثُ حالاتٍ هي: الصلبةُ والسائلةُ والغازيَّةُ بالإضافةِ إلى حالةِ البلازما عند درجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ.
- بين ذرّاتِ المادَّة وجزيئاتِها قوى تجاذبٍ كهربائيَّةٌ على المدى البعيدِ، وقوى تنافرٍ على المسافاتِ القريبةِ جدًّا.
- تؤدّي قوى التجاذبِ بين الجزيئاتِ إلى ترابطاتٍ، منها الترابطُ الأيونيُّ والترابطُ التساهميُّ والترابطُ المعدنيُّ.

### القسم 2-2 الأجسامُ الصلبةُ وخصائصُها

- تقعُ جزيئاتُ الموادِّ الصلبةِ في مصفوفاتٍ منتظمةٍ، وهي تهتزُّ حولَ نقاطِ اتِّزانٍ معيَّنةٍ.
- الإجهادُ هو القوَّةُ المطبَّقةُ على وحدةِ مساحةِ المقطعِ لسلكٍ معيَّنٍ.
- المطاوعةُ النسبيَّةُ هي نسبةُ الاستطالةِ الحاصلةِ في سلكٍ معيَّنٍ على الطولِ الأساسيِّ للسلكِ.
- مُعاملُ يونغ هو نسبةُ الإجهادِ المطبَّقِ على مادَّةٍ معيَّنةٍ على المطاوعةِ النسبيّةِ الناتجةِ عنه.

## مصطلحاتٌ أساسية

| | |
|---|---|
| الحالة | Phase (ص 34) |
| البلازما | Plasma (ص 34) |
| الترابط | Bond (ص 36) |
| الجاسئ | Rigid (ص 39) |
| المرونة | Elastisity (ص 40) |
| الشدّ | Tension (ص 40) |
| الإجهاد | Stress (ص 41) |
| المطاوعةُ النسبيّةُ | Strain (ص 42) |
| مُعاملُ يونغ | Young's modulus (ص 42) |

### رموزُ المتغيِّراتِ

| الكمّية | الرمز | الوحدة | التحويل |
|---|---|---|---|
| الإجهاد | $\sigma$ | باسكال $P_a$ | $1P_a = N/m^2 = kg/m{\bullet}s^2$ |
| المطاوعةُ النسبيَّةُ | $\epsilon$ | | |
| مُعاملُ يونغ | $E$ | باسكال $P_a$ | $1P_a = N/m^2 = kg/m{\bullet}s^2$ |



# مراجعةُ الفصل 2

## راجعْ وقيِّمْ

## حالاتُ المادَّةِ والقُوى بين جُزيئاتِها

### أسئلةُ مراجعة

1. رتِّبْ حالاتِ المادَّةِ الثلاثَ وفقًا لكثافتِها، وفسِّرِ اختلافَ الكثافةِ فيما بينها.
2. في أيٍّ من حالاتِ المادَّةِ تكونُ الجزيئاتُ أكثرَ انتظامًا في مواقعِها؟
3. إذا أُعطيَ لسائلٍ معين كمّيّةً كبيرة من الحرارة، فهل تتحوَّلُ حالته إلى صلبة أم إلى غازية؟ ماذا يحدثُ لو سُحبتْ منه كمّيّةُ الحرارةِ ذاتُها؟
4. لماذا يكونُ الجزءُ الأعظمُ من الكونِ في حالةِ البلازما؟
5. على أيِّ كمّيَّةٍ فيزيائيَّةٍ تحصلُ إذا قسمْتَ الكتلةَ الموليَّةَ لمادَّةٍ $(M_m)$ على حجمِها الموليِّ $(V_m)$؟
6. هل يمكنُ لمادةٍ أن تتواجدَ كمزيجٍ من حالتَيْن مختلفتَيْن من حالاتِ المادةِ الثلاث؟ أعطِ أمثلة على ذلك.

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

7. لماذا يسهلُ ضغطُ المادَّةِ في الحالةِ الغازيَّةِ، ويصعبُ في الحالتَيْن الصلبةِ والسائلةِ؟
8. لماذا يكونُ الترابطُ ضعيفًا بين ذرّاتِ الهيليومِ، وكذلك بين ذرّاتِ النيون؟
9. عرِّفِ الترابطَ الأيونيَّ وأعطِ مثالاً عليه.
10. عرِّفِ الترابطَ التساهميَّ وأعطِ مثالاً عليه.
11. أي من أنواع الترابط الثلاثة يربط ذرات مادة الرصاص؟
12. يعتبرُ السيليكون، وعددُهُ الذريُّ 14، عنصرًا أساسيًّا في أشباهِ الموصِّلات. ما عددُ الإلكتروناتِ في المدارِ الخارجيِّ لذرَّةِ السيليكون؟ وما نوعُ الرابطِ بين ذرّاتِه؟
13. لماذا يكونُ الترابطُ الأيونيُّ أقوى من الترابطِ التساهميِّ؟

### مسائلُ تطبيقيَّة

14. تبلغُ الكتلةُ الموليَّةُ للصوديوم 23 g وحجمُه الموليُّ $23.78 \times 10^{-6}\ m^3/mole$.
   أ. قدِّرْ كثافةَ الصوديوم.
   ب. احسبِ الكتلةَ التقريبيَّةَ لجزيءٍ واحدٍ من جزيئاتِ الصوديوم.
15. قدِّرْ كثافةَ السيليكون إذا كانَتْ كتلتُه الموليَّةُ 28.0855g وحجمُه الموليُّ $1.206 \times 10^{-5} m^3$.
16. ارسُمْ منحنى تقريبيًّا للقوَّةِ بين الجزيئاتِ، بدلالةِ المسافةِ بينها.
   أ. ما معنى أن يكونَ جزءٌ من هذه القوَّةِ موجبٌ، وجزؤُها الآخرُ سالبٌ؟
   ب. ماذا تمثِّلُ نقطةُ تقاطعِ هذه القوَّةِ مع محورِ المسافةِ؟

## الأجسامُ الصلبةُ وخصائصُها

### أسئلةُ مراجعة

17. ميِّزْ بين الجسمِ الصلبِ الجاسئ والجسمِ الصلبِ غيرِ الجاسئ.
18. ميِّزْ بين جسمٍ مرنٍ وجسمٍ غيرِ مرنٍ.
19. هل القوَّةُ المطبَّقةُ على جسمٍ تؤدّي دائمًا إلى استطالتِه؟ لماذا؟
20. ميِّزْ بين الإجهادِ المطبَّق على مادَّةٍ معيَّنةٍ والمطاوعةِ الناتجةِ عنه.
21. افترضْ نظامًا مؤلَّفًا من قالبَيْن خشبيَّيْن موصولَيْن بنابضٍ مرن. هل يعتبرُ هذا النظامُ صلبًا؟ جاسئًا؟ اشرحْ ذلك.
22. ميِّزْ بينَ إجهادِ الشدِّ وإجهادِ القصِّ، ووضِّحْ ذلك بالرسم.
23. عرِّفْ مُعاملَ يونغ للمادَّةِ، واذكُرْ وحدةَ قياسِه في نظامِ SI.

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

24. افترضْ نظامًا مكوَّنًا من كتلتَيْن موصولتَيْن بقضيبٍ خفيفٍ ثابتِ الطولِ. هل يمثِّلُ هذا النظامُ جسمًا جاسئًا؟ لماذا؟
25. ماذا يحدثُ إذا ضغطْتَ كرةً بالحائطِ ثمَّ تركتَها؟ ماذا يحدثُ إذا فعلْتَ الشيءَ نفسَه بقطعةٍ من العجين؟ ما الفرقُ بين الكرةِ وقطعةِ العجينِ؟
26. إذا علَّقتَ كتلتان متساويتان بسلكَيْن متماثلَي النوعِ والطولِ، ولكنَّ أحدَهما أسمكُ من الآخرِ. أيُّ السلكَيْن يتعرَّضُ لاستطالةٍ أطولَ؟ لماذا؟
27. هل يكونُ الجسمُ الصلبُ المرنُ جسمًا جاسئًا؟ لماذا؟
28. إلامَ يشيرُ انحرافُ منحنى الإجهاد–المطاوعةِ بصددِ العلاقةِ التناسبيَّةِ؟ ماذا تُسمّى حالةُ المادَّةِ خلالَ العلاقةِ التناسبيَّةِ؟

### مسائلُ تطبيقيَّة

29. عُلِّقَ وزنُ 200 N من طرفِ سلكٍ نحاسيٍّ رأسيٍّ طولُه 1 m. احسبْ استطالةَ السلكِ إذا كانَ مُعاملِ يونغ المادَّةِ $1.1 \times 10^{7}\ N/m^2$ ونصفُ قطرِ السلكِ 1 mm.
30. احسبِ استطالةِ السلكِ في السؤالِ 29 إذا كانَ نصفُ قطرِ السلكِ 2 mm.

**31.** شُدَّت أربعةُ قضبانٍ أسطوانيَّةٍ طوليًّا بحيثُ تعرَّضَ كلٌّ منها لاستطالةٍ معيَّنة. إذا كانَ مقدارُ قوَّةِ الشدِّ، ومساحةُ مقطعِ كلِّ

| رقمُ القضيب | مقدارُ القوّة | مساحةُ المقطع | الاستطالة | الطولُ الأصليُّ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | F | A | $\Delta L$ | L |
| 2 | 2F | 2A | $2\Delta L$ | L |
| 3 | F | 2A | $2\Delta L$ | 2L |
| 4 | 2F | A | $\Delta L$ | 2L |

قضيبٍ، والاستطالةُ، والطولُ الأصليُّ كما هو واردٌ في الجدول، رتِّبْ القضبانَ وفقَ قيمةِ معاملِ يونغ لكلٍّ منها بدءًا بالمعاملِ الأكبر.

## مراجعةٌ عامَّة

**32.** افترضْ مادَّةً صلبةً في بُعدَيْن مصنوعةً من أقراصٍ دائريَّةٍ نصفُ قطرِ كلٍّ منها r كما في الشكلِ المجاور. تتلامسُ الأقراصُ بحيث تشكِّلُ مراكزُها مربّعاتٍ قطرُ كلٍّ منها 2r.

أ. ما مساحةُ كلٍّ من الأقراصِ وكلٍّ من المربّعات؟

ب. احسبِ النسبةَ المئويَّةَ التي تشغلُها مساحةُ الأقراصِ في كلِّ مربَّع.

**33.** يتألَّفُ شكلُ المكعَّبِ البسيطِ في الشبكةِ البلّوريةِ لبعضِ الأجسامِ الصلبةِ من ذرّاتٍ كرويَّةٍ متلاصقةٍ، كما في الشكلِ المجاور، نصفُ قطرِ كلٍّ منها r.

أ. احسبْ حجمَ كلٍّ من الذرّاتِ الكروية.

ب. ما طولُ ضلعِ المكعَّبِ الذي تنطبقُ زواياهُ مع مراكزِ الذرّاتِ الكروية؟ وما حجمُه؟

ج. احسبِ النسبةَ المئويةَ التي تشغلُها الذرّاتُ من حجمِ المكعَّبِ في الفرعِ ب.

د. إذا كانَتْ كتلةُ كلِّ ذرَّةٍ m، فكم تكونُ كثافةُ المادة؟

**34.** في تجربةٍ لفحصِ قوَّةِ تحمُّلِ خيطٍ من النايلون، عُلِّقَتْ أوزانٌ بالطرفِ السفليِّ للخيطِ، وهو في وضعٍ رأسيّ. تمَّ قياسُ قطرِ الخيطِ أولاً، عند عدَّةِ نقاطٍ، وحصلْنا على القيم: 0.81 mm، 0.80 mm، 0.81 mm، 0.79 mm. عمدْنا إلى زيادةِ الوزنِ 1 N في كلِّ مرَّةٍ، إلى أن انقطعَ الخيطُ عند تعليقِ وزنٍ 25 N. احسبْ إجهادَ قطعِ الخيط. علِّقْ على دقَّةِ القيمةِ التي حصلْتَ عليها.

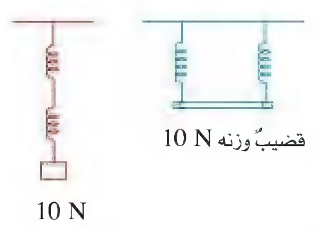
**35.** عُلِّقَ نابضٌ مرنٌ بنقطةٍ ثابتةٍ، بحيثُ يتدلّى بشكلٍ رأسيٍّ. عند تعليقِ وزنِ 5.0 N بالطرفِ الآخرِ للنابضِ يزدادُ طولُه 450 mm. احسبْ:

أ. ثابتَ النابضِ $k$.

ب. الوزنَ الإضافيَّ الذي يؤدّي إلى استطالةِ النابضِ 500 mm.

ج. الوزنَ المطلوبَ بدلاً من الـ 5.0 N لإحداثِ استطالةِ 50 mm فقط.

**36.** افترضْ نابضَيْن متماثلَيْن الطولُ الأصليُّ لكلٍّ منهما 300 mm لكلٍّ منهما ثابت $k = 400$ N/m. احسبِ استطالةَ كلٍّ من النابضَيْن إذا تمَّ تعليقُهما كما في الشكلَيْن التاليَيْن:




**37.** يثبَّتُ أحدُ طرفَي قضيبٍ أسطوانيٍّ أفقيٍّ من الألمنيوم بجدارٍ رأسي. يتدلّى جسمٌ كتلته؛ 1200 g من الطرفِ الآخرِ للقضيب. إذا كانَ قطرُ مقطعِ القضيبِ 4.8 cm وطولُه 5.3 cm ومعاملُ قصِّ الألمنيوم $3.0 \times 10^{10}$ N/m²، أهملْ كتلةَ القضيبِ لتحسب:

أ. إجهادَ القصِّ على القضيب.

ب. الإزاحةَ الرأسيَّةَ للطرفِ الحرِّ للقضيب.

**38.** يحملُ سلكٌ معدنيٌّ قطرُه 0.41 mm وزنًا مقدارُه 5.0 N من طرفِه السفليِّ، في حين أنّ طرفَه العلويَّ مثبَّتٌ بحامل. أعطى قياسُ طولِ السلكِ في هذه الحالةِ 1.692 m. عند زيادةِ الوزنِ المعلَّقِ إلى 75.0 N حدثَتْ استطالةٌ في السلكِ مقدارُها 4.3 mm. احسبْ مُعاملِ يونغ السلك.

**39.** تمَّ توصيلُ طرفُ سلكٍ نحاسيٍّ قطرُهُ 0.30 mm وطولُه 1.50 m بطرفِ سلكٍ فولاذيٍّ له القطرُ نفسُه وطولُ 1.20 m. عُلِّقَ السلكُ المزدوجُ رأسيًّا، بحيثُ رُبطَ الطرفُ الآخرُ للسلكِ النحاسيِّ بنقطةٍ ثابتةٍ وعُلِّقَ وزنٌ صغيرٌ بطرفِ السلكِ الفولاذيِّ. أدَّتْ عمليَّةُ توصيلِ السلكَيْن إلى تقصيرِ كلٍّ منهما 20 mm. بعدها عُلِّقَ وزنٌ 30 N بالطرفِ السفليِّ للسلكِ الفولاذيِّ. احسبْ:

أ. الإجهادَ في كلِّ سلك.

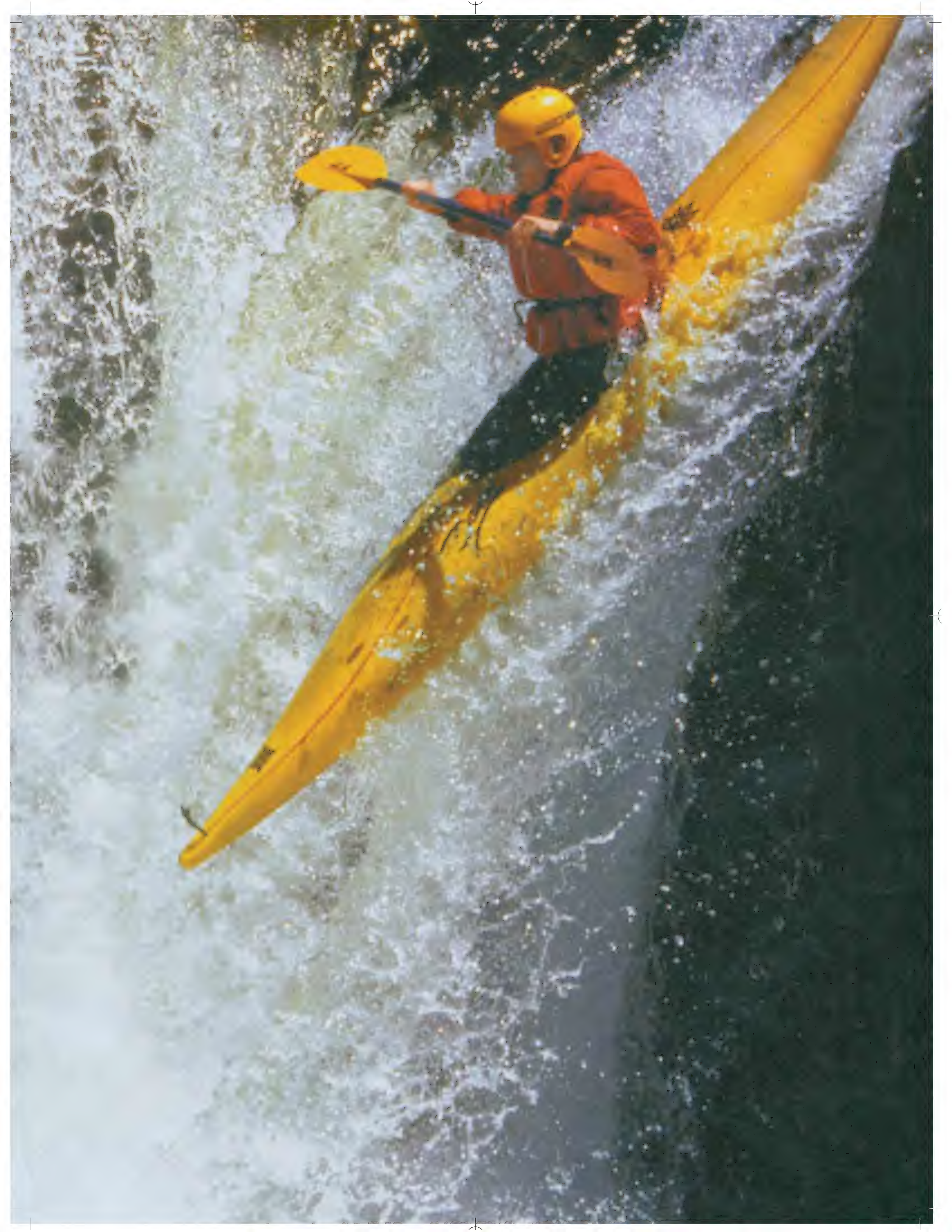
ب. المطاوعةَ النسبيَّةَ لكلِّ سلكٍ، علمًا بأن مُعاملَ يونغ النحاس $1.3 \times 10^{11}$ N/m² ومُعاملَ يونغ الفولاذ $2.0 \times 10^{11}$ N/m².

ج. الاستطالةَ الكليَّةَ للسلكَيْن.

## المشاريع والتقارير

**1.** قمْ ببحثٍ حولَ التركيباتِ البلّوريّةِ في الأجسامِ الصلبةِ. حاولْ تعرُّفَ ثلاثةَ أو أربعةَ أنواعٍ من الأشكالِ التي يمكنُ أن تتراصَّ فيها الذرّاتُ في هذه التركيبات. افترضْ أنَّ الذرّاتِ كراتٌ متماثلةٌ تتلامسُ بطرقٍ مختلفة.

**2.** ابحثْ عن الفرقِ بين منحنى الإجهادِ-المطاوعةِ التحميليِّ (زيادةِ الأوزانِ تدريجيًّا) والمنحنى التفريغيِّ (إزالةِ الأوزانِ تدريجيًّا) لثلاثِ أنواعٍ من الموادِّ، أحدُهما مرنٌ جدًّا كالزجاج، والآخرُ قليلُ المرونةِ كالمطّاطِ، والثالثُ قابلٌ للشدِّ كالنحاس.



# الفصل 3

# ميكانيكا الموائع
# *Fluid Mechanics*





يعرفُ راكبُ الزورقِ أنَّه إذا كان وزنُهُ ($F_g$) أكبرَ من قوَّةِ دفعِ الماءِ إلى أعلى ($F_B$)، وهي قوَّةٌ تساعدُهُ على الطفوِ، فإنَّه سيغرقُ لا محالة! تتعرَّضُ كلُّ الأجسامِ المغطَّسةِ في الماءِ كهذا الزورقِ لقوَّةِ دفعٍ إلى أعلى تساوي وزنَ الماءِ الذي يحلُّ الجسمُ محلَّهُ. تساعدُ قوَّةُ الدفعِ هذا الزورقَ على القفزِ مجدَّدًا إلى سطحِ الماءِ بعد سقوطِهِ في مياهِ الشلّال.

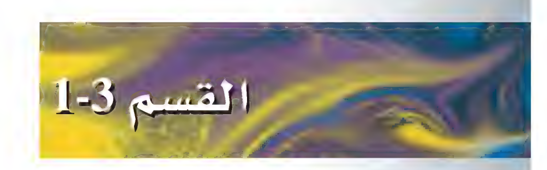
## ما يُتوقعُ تحقيقُهُ

ستتعلَّمُ في هذا الفصلِ عن قوَّةِ دفعِ الموائعِ وضغطِها، والمعادلاتِ الأساسيَّةِ الضابطةِ لسلوكِ الموائعِ. سيقدِّمُ هذا الفصلُ أيضًا موضوعَ الموائعِ المتحرِّكةِ ومعادلةَ الاستمراريَّةِ.

## ما أهميَّتُهُ

كثيرٌ من الأجهزةِ الهيدروليكيَّةِ (التي تعملُ بوساطةِ السوائلِ) كمكابحِ السيّارةِ ورافعاتِ الأجسامِ الثقيلةِ، تستعملُ في عملِها خصائصَ الموائعِ. يُعدُّ فهمُ خصائصِ الموائعِ ضروريًّا من أجلِ تصميمِ هذه الأجهزةِ.

## محتوى الفصل 3




# الموائعُ وقوةُ الدفع

## *Fluids and buoyant force*

### 3-1 مؤشّراتُ الأداء

- يعرِّفُ المائع.
- يميِّزُ بين السائلِ والغاز.
- يحدِّدُ مقدارَ قوةِ دفعِ المائعِ المؤثِّرةِ في جسمٍ طافٍ أو غاطس.
- يفسِّرُ طفوَ بعضِ الأجسامِ وغرقَ أجسامٍ أخرى.

## تعريفُ المائع

تُصنَّفُ المادةُ عادةً بحالاتِها الثلاثةِ إلى: صُلبةٍ وسائلةٍ وغازيةٍ. والكتابُ، حتى الآن، لم يناقِشِ الحركةَ ومسبِّباتِها إلا من خلالِ معالجةِ الأجسامِ الصلبة، أما هنا في هذا الفصل فيعالجُ ميكانيكا السوائلِ والغازات.

يظهرُ **الشكلُ 3-1** (أ) صورةً لسائل، ويظهرُ **الشكلُ 3-1** (ب) مثالاً لغاز. انظرْ لحظةً وفكِّرْ، هل تستطيعُ تحديدَ السِّمةِ المشتركةِ بينهما؟ الخاصةُ المشتركةُ بينهما تظهرُ في قدرتِهما على الجريانِ وتغييرِ الشكلِ في عمليةٍ ظاهرة. تسمى الموادُّ التي تتَّسمُ بهاتينِ الخاصتينِ **موائع** fluids. لا تُعَدُّ الأجسامُ الصُّلبةُ من الموائعِ لأنها لا تستطيعُ أن تجري، وهي بالتالي ذاتُ شكلٍ محدّد.

**المائع**

المادةُ في الحالةِ اللاصلبة، حالةِ الغازِ والسائل، حيث يكونُ للذراتِ والجزيئاتِ حريةٌ في الحركةِ والجريان.

### للسوائلِ حجمٌ محدَّدٌ، أما الغازاتُ فلا حجمَ محدَّدًا لها

الغازاتُ والسوائلُ من الموادِّ المائعة، ومع ذلك تتميزُ المادةُ السائلةُ من المادةِ الغازيةِ بأنها ذاتُ حجمٍ محدَّد، في حينِ أن الأخرى لا حجمَ محدَّدًا لها. والسوائلُ تشتركُ مع الأجسامِ الصلبةِ في الحجمِ المحدَّد، لكنها تختلفُ عنها بأن شكلَها غيرُ محدد. تخيَّلْ أنك تملأُ خزانَ قَطّاعةِ العشبِ بالبنزين. البنزينُ، لكونِهِ سائلاً، يغيِّرُ شكلَهُ من شكلِ الحاويةِ الأصليةِ إلى شكلِ الخزان. وإذا كان في الحاويةِ 20 L من البنزين قبل صبِّه في الخزّان سيكونُ في خزانِ القطّاعةِ 20 L أيضًا بعد صبِّه، بينما الغازاتُ ليس لها حجمٌ أو شكلٌ محدد. فعندما يُصَبُّ الغازُ من حاويةٍ في أخرى، فإنه لا يغيِّرُ شكلَه، فحسب، ليناسبَ شكلَ الحاويةِ الجديدةِ بل ينتشرُ أيضًا ليملأَ الحاويةَ كلَّها.



(ب) (أ)

**الشكل 3-1**

(أ) السوائل، و (ب) الغازات، هذه وتلك من الموائعِ لأنهما تتدفّقانِ وتتغيّرانِ شكلَهما.

# الكثافةُ وقوةُ دفعِ المائع

ما شعورُكَ وأنتَ تقفُ في مصعدٍ مكتظ؟ قد يكونُ هذا الشعورُ ناتجًا عن أن عددًا كبيرًا من الناسِ شغَلَ حيِّزًا محدودًا من الفضاء. بمعنى آخر، إن كثافةَ الناسِ في المصعدِ عالية. تعتبرُ الكثافةُ، بشكلٍ عامٍّ، مقياسًا لكميةِ المادةِ الموجودةِ في حيِّزٍ محدّدٍ من الفضاء.

## الكثافةُ الكتليَّة

عندَ استعمالِنا كلمةَ «كثافة» لوصفِ مائعٍ معيَّنٍ فإننا نعني **الكثافةَ الكتليَّةَ للمائع** mass density. وتعرَّفُ الكثافةُ الكتليَّةُ بأنها كتلةٌ لوحدةِ الحجومِ من المادة، ويرمَزُ إليها بالحرفِ اليوناني $\rho$ ولفظُهُ رو.

**الكثافةُ الكتليَّة**

كتلةٌ لوحدةِ الحجومِ من المادَّة.

**الكثافةُ الكتليَّة**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{الكثافةُ الكتليَّة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

وحدةُ الكثافةِ في النظامِ العالميِّ للوحدات SI هي مقدارُ الكيلوغراماتِ في مترٍ مكعب ($kg/m^3$). والاصطلاحُ المتَّبعُ في الكتابِ يستعملُ كلمةَ كثافةٍ كمرادفٍ للكثافةِ الكتليَّة. يعرضُ **الجدولُ 3-1** لائحةً لكثافاتِ بعضِ الموائعِ وبضعةِ أجسامٍ صلبةٍ مهمّة.

**الجدول 3-1**

**كثافةُ بعضِ الموادِّ المعروفة**

| المادة | $\rho(kg/m^3)$ |
|---|---|
| هيدروجين | 0.0899 |
| هيليوم | 0.179 |
| بخار (100°C) | 0.598 |
| هواء | 1.29 |
| أوكسجين | 1.43 |
| ثنائي أكسيد الكربون | 1.98 |
| إثنول | $0.806 \times 10^3$ |
| ثلج | $0.917 \times 10^3$ |
| ماء شرب (4°C) | $1.00 \times 10^3$ |
| ماء بحر (15°C) | $1.025 \times 10^3$ |
| حديد | $7.86 \times 10^3$ |
| زئبق | $13.6 \times 10^3$ |
| ذهب | $19.3 \times 10^3$ |

تميلُ الأجسامُ الصلبةُ والسوائلُ إلى عدمِ الانضغاطِ عمومًا، ما يعني أن التغيّرَ في الكثافةِ نتيجةً للتغيّراتِ في الضغطِ قليلٌ جدًّا. لذلك لا تعتمدُ كثافةُ الأجسامِ الصلبةِ والسوائلِ الواردةِ في **الجدول 3-1** على الضغطِ تقريبًا، بينما تنضغطُ الغازاتُ وتتوزعُ كثافتُها على نطاقٍ واسعٍ من القيم. ينتجُ عن ذلك عدمُ وجودِ كثافةٍ معياريةٍ للغاز، بخلافِ الحالِ مع السوائلِ والأجسامِ الصلبة. أما كثافاتُ الغازاتِ الظاهرةُ في الجدولِ فهي مُدَرَّجةٌ تبعًا لدرجةِ حرارةٍ وقياسِ ضغطٍ محددين. وبالتالي فإن أيَّ تغيُّرٍ في درجةِ الحرارةِ أو الضغطِ سيسبّبُ تغيُّرًا ملموسًا في الكثافة.

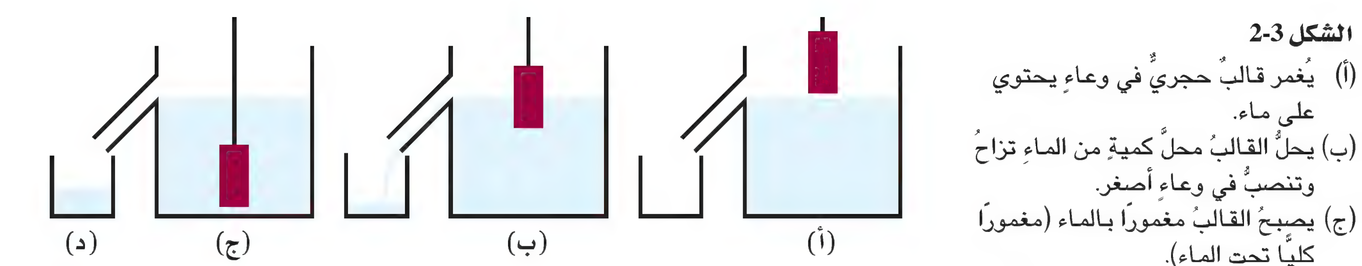
## قوةُ دفعِ المائعِ على الأجسام

هل تتعجبُ عندما تشعرُ أن الأجسامَ في الماءِ أخفُّ منها في الهواء؟ السبب هو تأثيرُ الموائعِ في الأجسامِ المغمورةِ فيها جزئيًّا أو كليًّا بقوةٍ إلى أعلى تُسمّى **قوةَ دفعِ المائع** buoyant force. فأنت تشعرُ بهذه القوةِ عندما تستلقي على فراشٍ هوائيٍّ يطفو على الماء، وهذه القوةُ هي التي تبقيكَ طافيًا مع الفراش.

**قوةُ دفعِ المائع**

قوةٌ تُبذَلُ إلى أعلى على جسمٍ مغمورٍ في مائعٍ أو على جسمٍ طافٍ على سطحِ المائع.

بما أن قوةَ الدفعِ تؤثرُ على الجسمِ في اتجاهٍ معاكسٍ لقوةِ الجاذبية، فإنَّ القوةَ المحصَّلةَ المؤثرةَ في أجسامٍ مغمورةٍ في مائعٍ، كالماءِ مثلاً، تكونُ أقلَّ من وزنِها. هذا يعني أنه يتوفّرُ للأجسامِ ما يجعلُها تظهرُ بأنَّها تزنُ في الماءِ أقلَّ مما تزنُ في الهواء. يسمى وزنُ الجسمِ المغمورِ في مائعٍ الوزنَ *الظاهريَّ للجسمِ* في المائع. وفي حالةِ جسمٍ ثقيلٍ، كقالبٍ حجريٍّ مثلاً، يكونُ الوزنُ الظاهريُّ للجسمِ في الماءِ أقلَّ من وزنِه الحقيقي وهو في الهواء، وبرغمِ ذلك يمكنُ للجسمِ أن يَغرقَ لأن قوةَ الدفعِ غيرُ كافيةٍ لإبقائِهِ طافيًا.




**الشكل 2-3**
(أ) يُغمر قالبٌ حجريٌّ في وعاءٍ يحتوي على ماء.
(ب) يحلُّ القالبُ محلَّ كميةٍ من الماءِ تزاحُ وتنصبُّ في وعاءٍ أصغر.
(ج) يصبحُ القالبُ مغمورًا بالماء (مغمورًا كليًّا تحت الماء).
(د) حجمُ الماءِ المزاحِ (الذي حلَّ محلَّهُ القالب) يساوي حجمَ القالب.

## مبدأُ أرخميدس

تخيَّلْ أنك تغمرُ قالبًا حجريًّا في وعاءٍ فيه ماء، كما يظهرُ في **الشكل 2-3**. يوجدُ على جانبِ الوعاءِ، في مستوى سطحِ الماءِ،أنبوبٌ يسمحُ للماءِ المزاحِ بالتدفّقِ إلى الخارج. عندما يُغمرُ القالبُ يرتفعُ مستوى سطحِ الماء، فما ارتفعَ منه يتدفقُ في الأنبوبِ ويجري إلى وعاءٍ أصغرَ حجمًا. الحجمُ الإجماليُّ لكميةِ الماءِ المزاحِ من الوعاءِ يُسمَّى حجمَ الماءِ المزاح، وهو يساوي حجمَ الجزءِ المغمورِ من القالب.

يمكنُ حسابُ مقدارِ قوةِ الدفعِ المؤثرةِ في القالبِ في أيِّ وقتٍ محدَّدٍ بتطبيقِ قاعدةٍ تسمّى مبدأَ أرخميدس، وهو ينصُّ على التالي: يتعرضُ أيُّ جسمٍ مغمورٍ كليًّا أو جزئيًّا في مائعٍ لقوةِ دفعٍ إلى أعلى تساوي وزنَ المائعِ الذي حلَّ محلَّه الجسم.

لقد أتيحَ لنا اختبارُ مبدأ أرخميدس من خلالِ عدةِ أمثلة. تذكَّرْ أنه يسهلُ عليك نسبيًّا رفعُ شخصٍ في حوضِ سباحةٍ أكثرَ من رفعِهِ خارجَ الماء.

ويُكتَبُ مبدأُ أرخميدس بالرموزِ كالتالي:

**مقدارُ قوةِ الدفعِ = وزنِ المائعِ المزاحِ = كتلةِ المائعِ المزاحِ × تعجيلِ الجاذبية**

$$F_B = F_g\ (\text{المائع المزاح}) = m_{\text{المائع}}g$$

حيث $m_{\text{المائع}}$ رمزٌ لكتلةِ المائعِ المزاح، وَ $F_g$ وزن المائعِ المزاح.

## هل تعلم؟

وُلِدَ أرخميدس، الرياضيُّ اليونانيّ، في مدينةِ سيراكوزا في صقلية. تقولُ الأسطورةُ إن ملك سيراكوزا، بعد أن شكَّكَ في الذهبِ المصنوعِ منه التاج، أمرَ أرخميدس بالتحقّقِ من ذلك. يُقال أن أرخميدس بينما كان يستحمُّ اكتشفَ سرَّ اختبارِ نوعيةِ الذهبِ في التاجِ من خلالِ مبدأ أرخميدس. فخرجَ عاريًا يصيح: «وجدتُها»، أي الفكرة وليس قطعةَ الصابونِ كما ظنَّ البعض!!

يعتمدُ طفوُ الجسمِ أو غَرَقُهُ على القوةِ المحصَّلةِ المؤثرةِ فيه، أي الوزنِ الظاهريِّ للجسمِ الذي يُحسَبُ كالتالي:

$$\vec{F}_{\text{الوزن الظاهري}} = \vec{F}_{\text{المحصلة}} = \vec{F}_B + \vec{F}_g$$

$$F_{\text{المحصلة}} = F_B - F_g\ (\text{الجسم})$$

نطبّقُ الآنَ مبدأَ أرخميدس مستعملينَ $m_o$ للتعبيرِ عن كتلةِ الجسمِ المغمور.

$$F_{\text{المحصلة}} = m_{\text{المائع}}g - m_o g$$

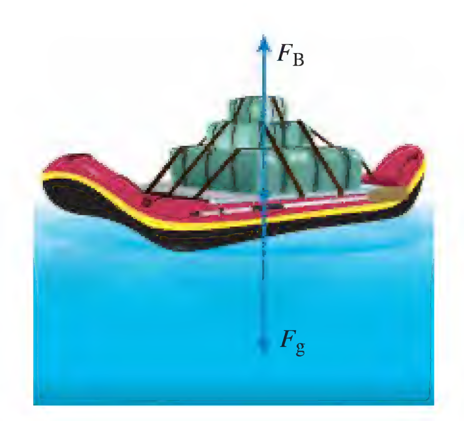
وهنا نعوّضُ $m = \rho V$ في التعبيرِ السابق:

$$F_{\text{المحصلة}} = (\rho_{\text{المائع}}V_{\text{المائع}} - \rho_o V_o)g$$

علمًا أن كمياتِ الموائعِ في هذا التعبيرِ تخُصُّ المائعَ المزاح.

## للأجسامِ الطافيةِ قوّةُ دفعٍ تساوي وزنَ الجسم

تخيَّلْ طوافةً للشحنِ محمّلةً تطفو في بحيرة. هذه الطوافةُ تتأثرُ بقوتين: قوةِ الجاذبيةِ إلى أسفل وقوةِ الدفعِ إلى أعلى. وبما أن الطوافةَ طافيةٌ فإنها في حالةِ اتزانٍ، أي إن القوتينِ متساويتانِ في المقدار.




**الشكل 3-3**
تطفو الطوافةُ المحمّلةُ لأن وزنَها وقوةَ الدفعِ متساويانِ مقدارًا ومتعاكسانِ اتجاهًا.

**قوةُ الدفعِ على الأجسامِ الطافية**

**قوةُ الدفع = وزن الجسم الطافي**

$$F_B = F_g \text{ (الجسم)} = m_o g$$

لاحظ أنه لا حاجةَ إلى مبدأ أرخميدس لحسابِ قوةِ الدفعِ المبذولةِ على جسمٍ طافٍ إذا كان وزنُ الجسمِ معلومًا.

## كثافةُ الجسمِ تحدّدُ عمقَ غَطْسِه

محصلةُ القوةِ المؤثرةِ في جسمٍ طافٍ صفر. نعوّضُ القيمةَ في مبدأ أرخميدس فتحصلُ على:

$$F_{\text{المحصلة}} = (\rho_{\text{المائع}} V_{\text{المائع}} - \rho_o V_o)g = 0$$

نعيدُ ترتيبَ المعادلة:

$$\frac{\rho_{\text{المائع}}}{\rho_o} = \frac{V_o}{V_{\text{المائع}}}$$

من الطبيعيِّ أن لا يكونَ حجمُ المائعِ المزاحِ أكبرَ من حجمِ الجسمِ نفسِه. لذلك، ولكي يطفوَ الجسمُ، فإن كثافتَهُ لا يمكنُ أن تكونَ أكبرَ من كثافةِ المائعِ الذي يوجدُ فيه. بالإضافةِ إلى ذلك يكونُ حاصلُ قسمةِ الحجمِ الكليِّ $V_o$ على الحجمِ المغمورِ $V_{\text{المائع}}$ مساويًا لحاصلِ قسمةِ الكثافتين. وعند تساوي الكثافتينِ يكونُ الجسمُ بأكملِه مغمورًا لكن دون أن يغوصَ إلى القعر.

## تَغيُّرُ قوةِ الدفعِ بتغيّرِ متوسّطِ الكثافة

تتغيرُ درجةُ الطفو لدى الأجسامِ بتغيُّرِ متوسِّطِ كثافتِها. فمثلاً، تستطيعُ السمكةُ أن تغيِّرَ متوسطَ كثافتِها بوساطةِ نفخِ أو تفريغِ عضوٍ منها يسمّى مثانةَ السباحة. فالسمكةُ تملأُ العضوَ غازًا إما بسحبِ الهواءِ عن سطحِ الماءِ أو بإفرازِ غازٍ من غدّةٍ خاصة.

تعملُ خزاناتُ التثقيلِ في الغواصةِ بمثلِ ما تعملُ مثانةُ السباحةِ عند السمكة. في الغواصةِ يُرسَلُ الهواءُ المضغوطُ إلى الخزاناتِ (ويُدفَعُ الماءُ إلى خارجِها)، مما يجعلُ الغواصةَ تعلو إلى السطح. وعندما تستعدُّ للغوصِ مجددًا، يحلُّ الماءُ محلّ الهواءِ الذي في الخزانات، مما يزيدُ من متوسطِ كثافةِ الغواصةِ ويجعلُها تغوص.

## الوزنُ الظاهريُّ لجسمٍ مغمورٍ يعتمدُ على الكثافة

تخيَّلْ أن ثقبًا حدثَ بشكلٍ مفاجئٍ في الطوافةِ الظاهرةِ في **الشكل 3-3**، فأدّى ذلك إلى

## هل تعلم؟

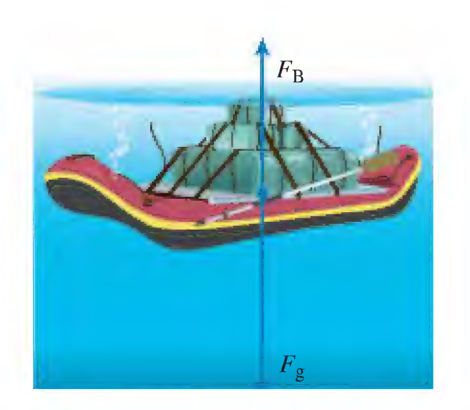
الدماغُ البشريُّ مغمورٌ كليًّا في مائعٍ كثافتُه $1007 \text{ kg/m}^3$. وهي أدنى قليلاً من متوسطِ كثافةِ الدماغ ($1040 \text{ kg/m}^3$). وهذا ما يجعلُ معظمَ وزنِ الدماغِ مدعومًا بقوةِ الدفعِ من المائعِ المحيطِ به، الذي يساهمُ أيضًا في امتصاصِ الصدماتِ التي يتعرضُ لها الدماغُ أثناءَ تحركاتِ الرأسِ المفاجئة.

شروعِها في الغرق، حتى أصبحتْ مع حمولتِها تحت مستوى سطحِ الماء (كما في **الشكل 4-3**). في هذه الحالةِ تساوي القوةُ المحصّلةُ على الطوافةِ وحمولتِها الجمعَ الاتجاهيَّ لقوةِ الدفعِ ووزنِ الطوافةِ المحمّلة. عندما ينقُصُ حجمُ الطوافةِ وحمولتِها ينقصُ أيضًا حجمُ الماءِ الذي حلَّتْ محلَّه، وينقصُ كذلك مقدارُ قوةِ الدفع. يمكنُ كتابةُ ذلك باستعمالِ تعبيرِ القوةِ المحصَّلة:

$$F_{\text{المحصلة}} = (\rho_{\text{المائع}} V_{\text{المائع}} - \rho_o V_o)g$$

بما أن الطوافةَ مع حمولتِها مغمورةٌ في الماءِ بشكلٍ كامل، فإن حجمَ الطوافةِ مع حمولتِها وحجمَ الماءِ الذي حلّتْ محلَّهُ متساويان:

$$F_{\text{المحصلة}} = (\rho_{\text{المائع}} - \rho_o)Vg$$




**الشكل 4-3**
تغرقُ الطوافةُ مع حمولتِها لأن كثافتَها أكبرُ من كثافةِ الماء.

من الملاحَظِ أن اتجاهَ ومقدارَ القوةِ المحصَّلةِ كليهما يعتمدانِ على الفرقِ بين كثافةِ الجسمِ وكثافةِ المائع. إذا تجاوزتْ كثافةُ الجسمِ كثافةَ المائعِ تصبحُ القوةُ المحصَّلةُ سالبةً (إلى أسفل) فيغرقُ الجسم. لكن إذا كانت كثافةُ الجسمِ أقلَّ من كثافةِ المائعِ فالقوةُ المحصَّلةُ تكونُ موجبةً (إلى أعلى)، فيعلو الجسمُ ويطفو. وإذا تساوتِ الكثافتانِ فإن الجسمَ يبقى معلّقًا تحت سطحِ الماء.

باستطاعتِنا أن نشتقَّ، من النسبِ التالية، علاقةً بسيطةً تربطُ بين وزنِ الجسمِ المغمورِ وبين قوةِ الدفعِ المؤثرةِ فيه:

$$\frac{F_g(\text{الجسم})}{F_B} = \frac{\rho_o V g}{\rho_{\text{المائع}} V g}$$

$$\frac{F_g(\text{الجسم})}{F_B} = \frac{\rho_o}{\rho_{\text{المائع}}}$$

يُستفادُ من هذه العلاقةِ في حلِّ مسائلَ حولَ قوّةِ الدفعِ على الأجسام.

## الفيزياءُ والحياة



**1. الطفويةُ الطبيعية** يتمرّنُ روّادُ الفضاءِ أحيانًا تحت الماءِ لمحاكاةِ شروطِ السباحةِ في الفضاء. اشرحْ وعلِّلْ.

**2. جاذبيةٌ أكثر** يدَّعي أحدُ المتعلمينَ أن الناسَ، إذا تضاعفتْ جاذبيةُ الأرض، يصبحون غيرَ قادرين على السباحة. أتوافقُهُ أم لا؟ اشرحْ.

**3. المنطاد** اشرحْ لماذا يستعملُ روّادُ المنطادِ غازَ الهيليوم بدلاً من الهواء.

## مثال 3 (أ)

### قوةُ الدفع

**المسألة**

**اشترى أحدُ التجار تاجًا ذهبيًا كهذا الظاهر في الشكل 3-5. للتحقق من نوعيةِ الذهبِ علّقَ التاجَ في قبّانٍ حلزونيٍّ، فوجدَ وزنَهُ 7.84 N، ثم قاسَ وزنَ التاجِ مغمورًا في الماءِ فوجدَهُ 6.86 N. هل صُنِعَ التاجُ من الذهبِ الخالص؟ اشرحْ.**



الشكل 3-5

**الحلّ**

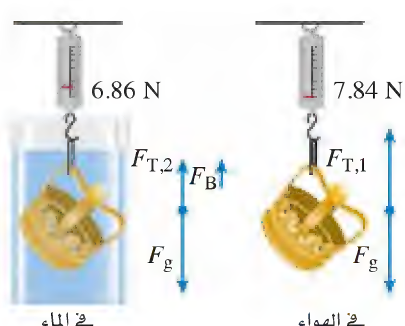
**1. أعرِّف**

المعطى: $F_g = 7.84\ \text{N}$ ، الوزنُ الظاهري = 6.86 N

$\rho_{\text{المائع}} = \rho_{\text{ماء}} = 1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$

المجهول: $\rho_o = ?$

الرسم:




**فكرة مفيدة**

الرسمُ التخطيطيُّ يوضحُ أنَّ $F_{T,1}$ هو الوزنُ الحقيقيُّ للتاجِ و $F_{T,2}$ الوزنُ الظاهريُّ للتاجِ وهو مغمورٌ في الماء.

**2. أخطِّط**

**أختارُ معادلةً أو موقفًا:** بما أن التاجَ مغمورٌ كليًّا بالماء، أستخدمُ نسبةَ الوزنِ إلى قوةِ الدفع.

$$\vec{F}_{\text{الوزن الظاهري}} = \vec{F}_{\text{المحصلة}} = \vec{F}_B + \vec{F}_g$$

$$-6.86\ \text{N} = F_B - 7.84\ \text{N}$$

$$\frac{F_g}{F_B} = \frac{\rho_o}{\rho_{\text{المائع}}}$$

**أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهول:**

$$\rho_o = \frac{F_g}{F_B}\rho_{\text{المائع}}$$

**3. أحسب**

**أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحسب:**

$$F_B = 7.84\ \text{N} - 6.86\ \text{N} = 0.98\ \text{N}$$

$$\rho_o = \frac{F_g}{F_B}\rho_{\text{المائع}} = \frac{7.84\ \text{N}}{0.98\ \text{N}}(1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)$$

$$\boxed{\rho_o = 8.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3}$$

**4. أقيِّم**

أقارنُ قيمةَ كثافةِ الذهبِ المحتسبةَ بالكثافةِ المعطاةِ في **الجدول 3-1**. بما أن $8.0 \times 10^3\ \text{kg/m}^3 < 19.3 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$، أستنتجُ أن ذهبَ التاجِ ليس صافيًا.

## تطبيق 3 (أ)

### قوةُ الدفع

1. قطعةٌ معدنيةٌ تزنُ في الهواءِ 50.0 N وفي الماءِ 36.0 N وفي سائلٍ مجهولٍ 41.0 N، فما كثافةُ:
   أ. المعدنِ؟
   ب. السائلِ المجهولِ؟
2. فراشٌ هوائيٌّ بشكلِ متوازي الأضلاع كتلتُه 2.8 kg، وطولُهُ 2.00 m، وعرضُهُ 0.500 m، وارتفاعُهُ 0.100 m. فما الكتلةُ التي يتحمّلُها عند وضعِه في الماءِ قبل أن يَشْرَعَ في الغرقِ؟
3. طوافةٌ مائيةٌ طولُها 6.0 m وعرضُها 4.0 m. ينغمرُ منها مسافةَ 4.00 cm عندما تحملُ شاحنة. ما وزنُ الشاحنةِ؟
4. بالونٌ مطّاطيٌّ كتلتُهُ فارغًا 0.0120 kg، يُنفَخُ بغازِ الهيليوم عند درجةِ حرارة 0°C وعند ضغط 1 atm. كثافةُ الهيليوم $0.179\ kg/m^3$، ونصفُ قطرِ البالونِ المنفوخ 0.500 m.
   أ. ما مقدارُ قوةِ الدفعِ المؤثرةِ في البالونِ؟ (راجع **الجدول 3-1** للحصولِ على كثافةِ الهواءِ.)
   ب. ما مقدارُ القوةِ المحصِّلةِ المؤثرةِ في البالونِ؟

## مراجعة القسم 3-1

1. ما الفرقُ بين الصلبِ والمائعِ؟ ما الفرقُ بين الغازِ والسائلِ؟
2. أيٌّ مما يلي يطفو في الزئبقِ؟
   أ. حليةٌ ذهبية
   ب. مكعبٌ ثلجيّ
   ج. مسمارٌ حديديّ
   د. 5 mL من الماء
3. صُمِّمَ منطادٌ مناخيٌّ، كتلتُه 650 kg، ليحملَ 4600 kg من الأمتعة. كم يجبُ أن يكونَ حجمُهُ بعد نفخِهِ بالهيليوم عند درجةِ الحرارةِ 0°C و 1 atm ليتمكّنَ من رفعِ الحمولةِ؟
   (ملاحظة: راجعْ قيمَ الكثافةِ في **الجدول 3-1**.)
4. تُعدِّلُ غواصةٌ من موقعِها بحيثُ تتسارعُ من السكونِ إلى أعلى بمقدارِ $0.325\ m/s^2$. ما متوسطُ كثافتِها عند هذه اللحظةِ؟ (ملاحظة: $\rho_{\text{الماء المالح}} = 1.025 \times 10^3\ kg/m^3$)
5. **الفيزياءُ والحياة:** تُصنَّعُ بعضُ الزوارقِ من البلاستيكِ ومن موادَّ مركّبةٍ أكثرَ كثافةً من الماء. كيف تستطيعُ هذه الزوارقُ الطفوَ على الماءِ؟

## القسم 2-3

# ضغطُ المائعِ ودرجةُ حرارتِه
# *Fluid pressure and temperature*

### 2-3 مؤشّرات الأداء

- يحسُبُ الضغطَ الذي يبذلُهُ المائع.
- يحسبُ كيف يتغيّرُ ضغطُ المائعِ في العمق.
- يصفُ المائعَ بدلالةِ الحرارة.

## الضغط

يرتدي المستكشفونَ لأعماقِ البحارِ بذلاتِ ضغطٍ جويّ، كهذه الظاهرةِ في **الشكل 3-6**، لمقاومةِ قوى الماءِ في الأعماق. وأنتَ تشعرُ بقوًى شبيهةٍ تضغطُ على أذنَيْكَ عندما تغطسُ إلى قعرِ حوضِ السباحةِ أو عندما تتسلّقُ جبلاً أو تسافرُ في الطائرة.

### الضغطُ قوةٌ في وحدةِ مساحة

تبذُلُ الموائعُ في الأمثلةِ السابقةِ ضغطًا على طبلةِ أُذُنِك. فالضغطُ هو قياسٌ لمقدارِ القوةِ المسلَّطةِ عموديًّا على مساحةٍ معيَّنةٍ، ويكتبُ الضغطُ كالتالي:

**الضغط**

مقدارُ القوةِ المؤثّرةِ عموديًا على وحدةِ مساحة.

**الضغط**

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

وحدةُ الضغطِ في النظامِ الدوليِّ SI للوحداتِ هي الباسكال (Pa)، وهي تساوي $N/m^2$. يُعتبَرُ الباسكال نسبيًّا وحدةَ قياسٍ صغيرةً للضغط. يساوي الضغطُ الجويُّ على مستوى سطحِ البحرِ حوالَيّ $10^5$ Pa. وهذه الكميةُ تمثلُ في الظروفِ الطبيعيةِ أساسًا لوحدةٍ أخرى تُسمى (atm)، حيث 1 atm يساوي $10^5$ Pa. إن ضغطَ الهواءِ المطلقَ داخلَ عجلةِ السيارةِ يعادلُ حوالَيّ $3 \times 10^5$ Pa أو 3 atm. يبينُ **الجدولُ 2-3** المزيدَ من أمثلةِ الضغط.

**الجدول 2-3 أمثلةُ ضغطٍ إضافية**

| الموقع | الضغط (Pa) |
|---|---|
| مركزُ الشمس | $2 \times 10^{16}$ |
| مركزُ الأرض | $4 \times 10^{11}$ |
| قعرُ المحيطِ الباسيفيكي | $6 \times 10^{7}$ |
| الضغطُ الجويُّ على مستوى سطحِ البحر | $1.01 \times 10^{5}$ |
| الضغطُ الجويُّ على ارتفاعِ 10 km عن سطحِ البحر | $2.8 \times 10^{4}$ |
| أدنى ضغطِ تفريغٍ في المختبر | $1 \times 10^{-12}$ |



**الشكل 3-6**
تسمحُ بذلاتُ الغطسِ الجويِّ للغطاسينَ بتحمُّلِ ضغطِ المائعِ على أعماقٍ تصلُ إلى 610 m.

## ينتقلُ الضغطُ المطبَّقُ بالتساوي في كلِّ أنحاءِ المائع

عندما تَنفُخُ عجلةَ دراجةٍ تبذلُ قوةً على مكبسِ المنفخِ الذي يبذلُ بدورِهِ قوةً على الهواءِ داخلَ العجلة. يستجيبُ الهواءُ بدفعٍ مضادٍّ يُبذَلُ ليس فقطْ على المكبس بل على جدرانِ العجلةِ أيضًا. نتيجةً لذلك يزدادُ الضغطُ بالمقدارِ نفسِهِ على كاملِ العجلة.

وبشكلٍ عامٍّ، إذا ازدادَ الضغطُ على أيِّ نقطةٍ من المائعِ في الوعاءِ (كصمّامِ العجلة) فإنه يزدادُ على جميعِ النقاطِ داخلَ الوعاءِ بالمقدارِ نفسِهِ. وقد ضَمَّنَ بلايز باسكال (1623 – 1662) المبدأ أو القانونَ الذي أُعطِيَ اسمَهُ هذه الحقيقةَ.

**مبدأ باسكال**

**ينتقلُ الضغطُ المسلَّطُ على مائعٍ داخلَ وعاءٍ مغلقٍ بالتساوي إلى كلِّ نقطةٍ من المائعِ وإلى جدرانِ الوعاءِ ومن دونِ نقصٍ.**

يَستعملُ المصعدُ الهيدروليكيُّ الظاهرُ في **الشكل 7-3** مبدأ باسكال. تسبِّبُ قوةٌ صغيرةٌ $F_1$ مسلّطةٌ على مكبسٍ صغيرٍ مساحةُ سطحِهِ $A_1$ ازديادًا في ضغطِ مائعٍ، كالزيتِ مثلاً. وتبعًا لمبدأ باسكال، ينتقلُ الضغطُ الزائدُ $P_{\text{الزائد}}$ إلى مكبسٍ كبيرٍ مساحةُ سطحِهِ $A_2$، فيسلِّطُ المائعُ قوةً $F_2$ على المكبسِ الكبير. نطبِّقُ مبدأ باسكال وتعريفَ الضغطِ لنحصُلَ على المعادلةِ التالية:

$$P_{\text{الزائد}} = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

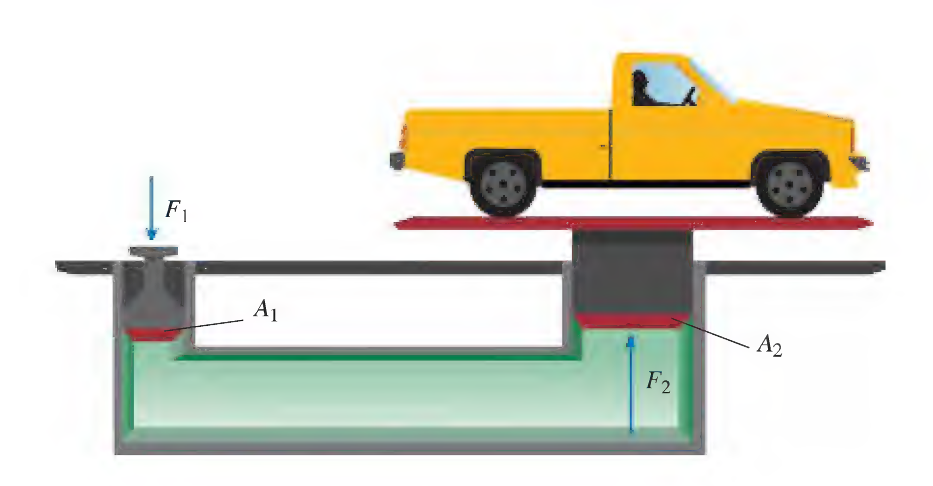
نعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لحسابِ $F_2$:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

تُظهِرُ المعادلةُ الثانيةُ القوةَ $F_2$ أكبرَ من القوةِ $F_1$ بمعاملٍ يساوي النسبةَ بين مساحتَيِ المكبسين $\frac{A_2}{A_1}$ .

## هل تعلم؟

في كلِّ مرةٍ تضغطُ أنبوبَ معجونِ الأسنانِ تختبرُ مبدأَ باسكال عمليًّا، حيث ينتقلُ ضغطُ أصابعِكَ على جانبَيِ الأنبوبِ إلى المعجونِ كلِّه ويدفعُهُ من خلالِ الفوّهةِ إلى خارجِ الأنبوب.




**الشكل 7-3**
بفعلِ تعادُلِ الضغطِ على جانبَيِ المائعِ المحصورِ في المصعدِ الهيدروليكيّ، تُنتِجُ قوةٌ صغيرةٌ مسلَّطةٌ على المكبسِ الصغيرِ (إلى اليسار) قوةً أكبرَ بكثيرٍ على المكبسِ الكبيرِ (إلى اليمين).

## مثال 3 (ب)

**الضغط**

### المسألة

**تبلغُ مساحةُ سطحِ مكبسٍ صغيرٍ لمصعدٍ هيدروليكيٍّ $0.20\ m^2$. وهناك سيارةٌ وزنُها $1.20 \times 10^4\ N$ تستقرُّ على الحاملِ المثبَّتِ على المكبسِ الكبيرِ الذي تبلغُ مساحةُ سطحِه $0.90\ m^2$. ما مقدارُ القوةِ التي يلزمُ أن تسلَّطَ على المكبسِ الصغيرِ ليمكنَ رفعُ السيارة؟**

### الحـــلّ

**1. أعرِّف**

المعطى: $A_1 = 0.20\ m^2$ $A_2 = 0.90\ m^2$ $F_2 = 1.20 \times 10^4\ N$

المجهول: $F_1 = ?$

**2. أخطِّط**

أستخدمُ معادلةَ الضغطِ التي في الصفحة 58.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

**3. أحسب**

$$F_1 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)F_2 = \left(\frac{0.20\ m^2}{0.90\ m^2}\right)(1.20 \times 10^4\ N)$$

$$\boxed{F_1 = 2.7 \times 10^3\ N}$$

## تطبيق 3 (ب)

**الضغط**

1. يسلِّطُ الهواءُ المضغوطُ قوةً على مكبسٍ نصفُ قطرِهِ $5.00 \times 10^{-2}\ m$ ليرفعَ سيارةً وزنُها $1.33 \times 10^4\ N$ تستقرُّ على حاملةٍ مثبّتةٍ على مكبسٍ نصفُ قطرِهِ $15.0 \times 10^{-2}\ m$.
   أ. ما مقدارُ القوةِ التي يجبُ أن يسلّطَها الهواءُ المضغوطُ لرفعِ السيارة؟
   ب. ما الضغطُ الذي أحدثَ هذه القوة؟ أهملْ وزنَ المكبسَيْن.
2. فراشٌ مائيٌّ طولُهُ $2.5\ m$ وعرضُهُ $1.5\ m$، يزنُ $1025\ N$. جدِ الضغطَ الذي يبذلُهُ الفراشُ على أرضِ الغرفة، مفترضًا أن الجزءَ السفليَّ من الفراشِ يلامسُ بأكملِهِ الأرض.
3. يركبُ شخصٌ مصعدًا إلى أعلى الجبل، فيحدثُ ذلك تغيُّرًا مفاجئًا في الضغطِ على طبلتَيْ أذنَيْه، حيث لا يتساوى ضغطُ الأذنِ الداخليُّ والضغطُ الخارجيُّ على الطبلةِ التي يبلغُ نصفُ قطرِها $0.40 \times 10^{-2}\ m$. ينقصُ الضغطُ الجويُّ من $1.010 \times 10^5\ Pa$ في أسفلِ الجبلِ إلى $0.998 \times 10^5\ Pa$ في أعلاه.
   أ. ما الضغطُ المبذولُ على جانبَيْ طبلةِ الأذنِ في أعلى الجبل؟
   ب. ما مقدارُ القوةِ المحصَّلةِ على كلٍّ من طبلتَيِ الأذن؟

## تغيُّرُ ضغطِ المائع مع العمق

كلَّما ازدادَ العمقُ الذي تغوصُ إليه الغواصةُ يزدادُ ضغطُ الماءِ على جسمِها. وهذا يستدعي مقاومةً من الجسمِ تكفي لتحمُّلِ الضغطِ الكبير. يزيدُ ضغطُ الماءِ مع تزايدِ العمق، لأنَّ الغواصةَ على عمقٍ معيَّنٍ يجبُ أن تتحمّلَ وزنَ عمودِ الماءِ الذي فوقها.

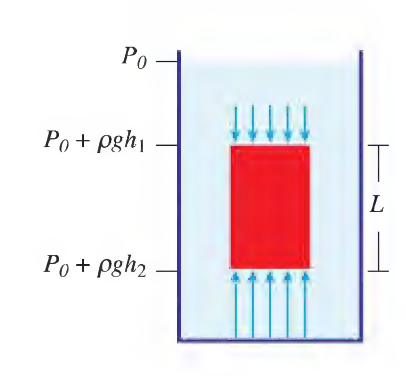
تصوَّرْ بقعةً صغيرةً من جسمِ الغواصة. إن عمودَ الماءِ بأكملِه يسلِّطُ فوق البقعةِ قوةً تساوي وزنَه. حجمُ عمودِ الماءِ يساوي $Ah$، حيث $A$ تمثِّلُ مساحةَ المقطعِ العرضيِّ للعمودِ و$h$ تمثِّلُ ارتفاعَه، وكتلتُهُ تساوي $m = \rho V = \rho Ah$. نستعملُ علاقتَيِ الضغطِ والكثافةِ لكتابةِ الضغطِ المرتبطِ بعمقٍ معيَّن.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} = \rho hg$$

مع العلمِ أن تطبيقَ هذه المعادلةِ يصحُّ فقط أذا كانت كثافةُ المائعِ هي نفسَها.

يُسمّى الضغطُ المعبَّرُ عنه في المعادلةِ *الضغطَ المقيسَ*، وهو لا يساوي الضغطَ الكليَّ على هذا العمقِ بسببِ وجودِ الضغطِ الجويِّ المسلَّطِ على السطح. الضغطُ المقيسُ يساوي إذَنْ الضغطَ الكليَّ (*المطلق*) $P$ ناقصًا الضغطَ الجوي $P_0$:

$$\rho gh = P - P_0$$

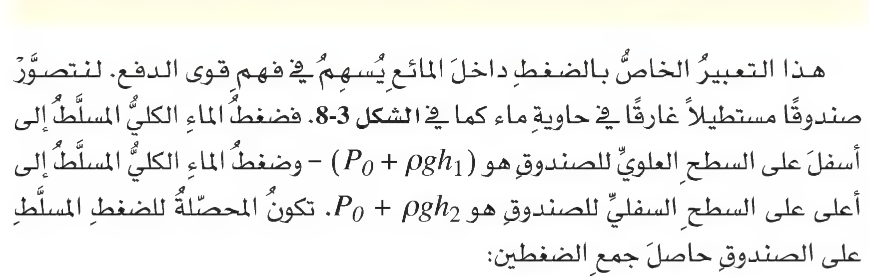



**الشكل 3-8**
ضغطُ المائعِ على أسفلِ الصندوقِ هو أكبرُ من ضغطِه على السطحِ العلويِّ للصندوق.

**الضغطُ الكلي (المطلق)**

$$P = P_0 + \rho gh$$

**الضغطُ الكليُّ (المطلق) = الضغط الجوي + (الكثافة × تعجيل الجاذبيَّة × العمق)**



هذا التعبيرُ الخاصُّ بالضغطِ داخلَ المائعِ يُسهِمُ في فهمِ قوى الدفع. لنتصوَّرْ صندوقًا مستطيلاً غارقًا في حاويةِ ماءٍ كما في **الشكل 3-8**. فضغطُ الماءِ الكليُّ المسلَّطُ إلى أسفلَ على السطحِ العلويِّ للصندوقِ هو $(P_0 + \rho gh_1)$ – وضغطُ الماءِ الكليُّ المسلَّطُ إلى أعلى على السطحِ السفليِّ للصندوقِ هو $P_0 + \rho gh_2$. تكونُ المحصّلةُ للضغطِ المسلَّطِ على الصندوقِ حاصلَ جمعِ الضغطين:

$$P_{\text{المحصلة}} = P_{\text{السطح السفلي}} + P_{\text{السطح العلوي}}$$
$$= (P_0 + \rho gh_2) - (P_0 + \rho gh_1) = \rho g(h_2 - h_1) = \rho gL$$

### الفيزياءُ والحياة

**1. الضغطُ الجوي** لماذا لا ينهارُ سطحُ البناءِ تحت تأثيرِ ضغطٍ جويٍّ ضخم؟

**2. القوةُ والشغل** أيٌّ من المكبسين، الكبيرُ أم الصغير، في المصعد الهيدروليكي يتحرَّكُ مسافةَ أطولَ أثناءَ رفعِ المصعدِ للجسم؟

**3. أحذيةُ الثلج** تقفُ امرأةٌ تنتعلُ حذاءَ ثلجٍ بأمانٍ على سطحٍ ثلجيّ. إذا خلَعَت نعلَيْها تبدأُ سريعًا في الغرقِ في الثلج. اشرح ما يحدث بدلالةِ القوةِ والضغط.



حيث $L = h_2 - h_1$

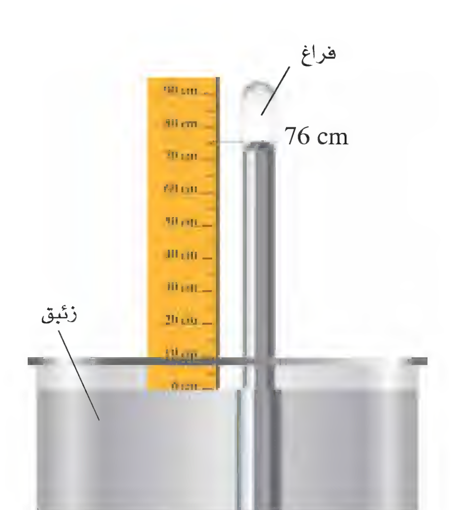
نستعملُ هذه النتيجةَ لإيجادِ القوةِ المحصَّلة:

$$F_{\text{المحصلة}} = P_{\text{المحصلة}}A = \rho gLA = \rho gV = m_{\text{المائع}}g$$

لاحظْ أن هذه المعادلةَ تشكّلُ تعبيرًا عن مبدأ أرخميدس. وعمومًا، نستطيعُ القولَ إن قوى الدفعِ تَنتُجُ عن الفرقِ في ضغطِ المائعِ ما بين أعلى الجسمِ المغمورِ وأسفلِ نقطةٍ منه.

## الضغطُ الجوّيّ

وزنُ الهواءِ في الجزءِ الأعلى من الغلافِ الجويِّ للأرضِ يسلِّطُ ضغطًا على طبقاتِ الهواءِ السفلى، وهذا ما يُسمّى *الضغطَ الجوّيّ*. يسلِّطُ هذا الضغطُ على جسمِ الواحدِ منا (افترضِ المساحة $2m^2$) قوةً كبيرةً جدًّا قد تصلُ إلى N 200 000. كيف يمكنُنا تحمُّلُ هذه القوةِ الهائلةِ دون أن تنهارَ أجسامُنا؟ الجوابُ هو أن فجواتِ أجسامِنا وأنسجتَها قد تخللتْها سوائلُ وغازاتٌ تدفعُ إلى الخارجِ بضغطٍ يساوي الضغطَ الجوي. فأجسامُنا إذَنْ هي في حالةِ اتّزانٍ، حيث قوةُ دفعِ الضغطِ الجويِّ تساوي القوةَ الداخليةَ الدافعةَ إلى الخارج.




**الشكل 3-9**
يشيرُ ارتفاعُ الزئبقِ في أنبوبِ البارومترِ إلى الضغطِ الجويّ.

الأداةُ الشائعُ استعمالُها لقياسِ الضغطِ الجويِّ تسمّى *البارومترَ الزئبقي*. يظهرُ في **الشكل 3-9** شكلٌ بسيطٌ لبارومترٍ يتألّفُ من أنبوبٍ زجاجيٍّ طويل، أحدُ طرفَيْهِ مفتوحٌ والآخرُ مغلق، وقد مُلِئَ بالزئبقِ وقُلِب واستقرَّ في حوضٍ يحتوي على زئبق. بعد ذلك لا يتدفَّقُ الزئبقُ منه إلى الحوض، بل يسلِّطُ الضغطُ الجويُّ قوةً على السطحِ الخارجيِّ للزئبقِ الذي في الحوضِ فيدفعُ الزئبقَ في الأنبوبِ إلى ارتفاعٍ معيَّنٍ فوقَ الحوض. بهذه الطريقةِ تتساوى القوةُ الضاغطةُ على زئبقِ الحوضِ مع وزنِ العمودِ الزئبقيِّ داخلَ الأنبوب. لذلك اعتُبِرَ أيُّ تغيُّرٍ في ارتفاعِ الزئبقِ إشارةً إلى تغيُّرٍ في الضغطِ الجوّي.

## النظريةُ الحركيةُ للغازاتِ وضغطِ الغاز

تطورَتْ عدةُ نماذجَ للغازِ على مَرِّ السنين. وقد حاولَ معظمُها تفسيرَ خصائصِ الغازِ العيانيَّةِ، كخاصيَّةِ الضغطِ، بدلالةِ ما يحدثُ مجهريًّا في الغاز. وكان النموذجُ الأكثرُ نجاحًا *النظريةَ الحركيةَ للغازات*.

تُشبِّه هذه النظريةُ جسيماتِ الغازِ بمجموعةٍ من كراتِ البليارِ التي تتصادمُ باستمرار. يعتبرُ هذا النموذجُ البسيطُ ناجحًا في تفسيرِ الخصائصِ العَيانيَّةِ للغاز. فمثلاً، عندما تصطدمُ هذه الجسيماتُ بجدارِ الوعاءِ تفقدُ جزءًا من كميةِ حركتِها أثناءَ التصادم، ويكونُ معدّلُ انتقالِ كميةِ الحركةِ إلى جدارِ الوعاءِ مساويًا لقوةِ الغازِ المسلَّطةِ عموديًّا على الجدار. تشكِّلُ القوةُ العموديَّةُ مقسومةً على وحدةِ مساحةٍ ضغطَ الغاز.

## مثال 3 (ج)

### الضغطُ بدلالةِ العمق

**المسألة**

**جدِ الضغطَ المطلقَ لمياهِ المحيطِ على عمقِ $1.00 \times 10^3$ m مفترضًا أن كثافةَ المياه $1.025 \times 10^3$ kg/m³ و $P_0 = 1.01 \times 10^5$ Pa.**

**الحــلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $h = 1.00 \times 10^3$ m  $P_o = 1.01 \times 10^5$ Pa

$\rho = 1.025 \times 10^3$ kg/m³  $g = 9.81$ m/s²

**المجهول:** $P = ?$

**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ ضغطِ المائعِ بدلالةِ العمقِ من الصفحة 60.

$$P = P_0 + \rho g h$$

**3. أحسب**

$$P = P_0 + (1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1.00 \times 10^3 \text{ m})$$

$$P = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} + 1.01 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\boxed{P = 1.02 \times 10^7 \text{ Pa}}$$

## تطبيق 3 (ج)

### الضغطُ بدلالةِ العمق

1. يبلغُ عمقُ المحيطِ الباسيفيكي في أحدِ المواقع 11.0 km. إذا كان الضغطُ الجويُّ على مستوى سطحِ البحر $1.01 \times 10^5$ Pa، فما الضغطُ الذي يجبُ أن تتحمّلَهُ غواصةٌ كي تصلَ إلى عمقِ المحيط؟ (استعمل **الجدول 3-1**).

2. مُلِئَ وعاءٌ ماءً بعمقِ 20.0 cm. وعلى سطحِ الماءِ تطفو طبقةٌ من الزيتِ بسمكِ 30.0 cm وكثافةِ $0.70 \times 10^3$ kg/m³.
   أ. جدِ الضغطَ المطلقَ على سطحِ الماء.
   ب. ما الضغطُ المطلقُ على قعرِ الوعاء؟ (استعمل **الجدولَيْن 3-1، 3-2**).

3. وُضِعَ كوبٌ يحتوي على زئبقٍ داخلَ غرفةِ التفريغِ (فراغ) في المختبر. ما ارتفاعُ الزئبقِ في الكوبِ إذا كان الضغطُ على قعرِه $2.7 \times 10^4$ Pa؟ (استعمل **الجدول 3-1** وانتبه إلى قيمةِ الضغطِ الجويِّ الواجبِ استعمالُها).

4. احسبْ عمقَ نقطةٍ في المحيطِ يساوي الضغطُ المطلقُ عندَها ثلاثةَ أمثالِ الضغطِ الجوّي. (استعمل **الجدولَيْن 3-1، 3-2**).

## درجةُ الحرارةِ في الغاز

لا يكفي استعمالُ الكثافةِ والضغطِ لوصفِ المائع، بل يلزمُ أن يضافَ إليهما **درجة الحرارة** temperature نظرًا لأهميتِها. ترتبطُ عادةً درجةُ الحرارةِ بمقدارِ سخونةِ الجسمِ أو برودتِهِ عند لمسِه. تزوّدُنا حواسُّنا إذن بمؤشراتٍ وصفيةٍ لدرجةِ الحرارةِ، لكن يجدرُ بنا لفهمٍ أعمقَ مراجعةُ النظريةِ الحركيةِ للغازات.

يمكنُ فهمُ درجةِ الحرارةِ، كفهمِ الضغط، من منظورِ المقياسِ الذرّي. تتوقّعُ النظريةُ الحركيةُ العلاقةَ النسبيةَ لدرجةِ الحرارةِ مع متوسطِ الطاقةِ الحركيةِ لجسيماتِ الغاز. مع ارتفاعِ درجةِ حرارةِ الغاز، تزدادُ سرعةُ الجسيمات، ويزدادُ بالتالي معدَّلُ التصادماتِ مع جدرانِ الوعاء. يؤدي ذلك إلى انتقالِ المزيدِ من كميةِ الحركةِ إلى جدرانِ الوعاءِ في فترةٍ زمنيةٍ معيّنةٍ مع حدوثِ زيادةٍ في الضغط. تستنتجُ النظريةُ الحركيةُ إذن وجودَ علاقةٍ بين درجةِ الحرارةِ والضغط.

يعبَّرُ عن وحدةِ درجاتِ الحرارةِ في النظامِ الدوليِّ للوحدات SI بالكلفن (K) والدرجاتِ السيليزيَّة (°C). للتحويلِ السريعِ من مقياسِ الدرجاتِ السيليزيَّةِ إلى مقياسِ كلفن، اجمعْ 273 إلى درجةِ الحرارةِ السيليزيَّةِ لتحصلَ على درجةِ الحرارةِ بالكلفن، علمًا أن درجةَ حرارةِ الغرفةِ هي حوالي 293 K (20°C).

$$T_K = T_{°C} + 273$$

**درجةُ الحرارة**

قياسُ متوسطِ الطاقةِ الحركيةِ لجسيماتِ المادة.

### مراجعة القسم 2-3

**1.** أيُّ الأجسامِ التاليةِ المستقرةِ على أرضِ الغرفةِ يبذلُ ضغطًا أكبر؟

أ. صندوقٌ مكعبٌ يزنُ 25 N وطولُ ضلعِه 1.5 m

ب. أسطوانةٌ تزنُ 15 N ونصفُ قطرِ قاعدتِها 1.0 m

ج. صندوقٌ مكعبٌ يزنُ 25 N وطولُ ضلعِه 2.0 m

د. أسطوانةٌ تزنُ 25 N ونصفُ قطرِ قاعدتِها 1.0 m

**2.** يجري دفعُ الماءِ إلى نقطةٍ في جبل «سفين» الذي يعلو 321 m بوساطةِ مضخةِ ماءٍ خاصة. ما مقدارُ الضغطِ اللازمِ لدفعِ الماءِ إلى ذلك الارتفاع؟ (انظر **الجدول 3-1**.)

**3.** تبلغُ درجةُ حرارةِ غرفةٍ في الطابقِ السفليِّ من مستشفى 20°C، وتبلغُ درجةُ حرارةِ غرفةٍ في الطابقِ العلوي 22°C. في أيٍّ منهما متوسطُ الطاقةِ الحركيةِ لجسيماتِ الهواءِ أكبر؟

**4.** ما درجةُ الحرارةِ بمقياسِ كلفن لنسمةٍ صباحيةٍ درجةُ حرارتِها 11°C؟

**5.** ما الضغطُ بوحدةِ Pa الذي يجبُ أن يتحملَهُ جسمُ غواصةٍ تغوصُ إلى عمقِ $5.0 \times 10^2$ m؟ بكم ضِعْفٍ يزيدُ هذا الضغطُ عما هو على السطح؟ (انظرِ **الجدولَيْن 3-1، 3-2**.)

القسم 3-3

# حركةُ الموائع
# *Fluids in motion*

**3-3 مؤشّراتُ الأداء**

- يتفحّصُ حركةَ المائعِ مستخدمًا معادلةَ الاستمرارية.
- يطبّقُ معادلةَ برنولي لحلِّ مسائلَ حول تدفقِ الموائع.
- يتعرّفُ إلى تأثيراتِ مبدأِ برنولي في حركةِ المائع.

## تدفّقُ المائع

هل حاولتَ أن تجدِّفَ في زورقٍ في نهرٍ يتدفق؟ تلاحظُ أن الجزءَ من النهرِ الذي تتدفّقُ مياهُه بهدوءٍ يسمحُ لك بالعومِ بهدوء، بينما تسبِّبُ الصخورُ والمنعطفاتُ الحادَّةُ في أماكنَ أخرى من النهرِ جنادلَ رغويةً من الماءِ الأبيض.

عندما يكونُ المائعُ جاريًا، كما هي الحالُ في النهرِ، تتحرَّكُ جُسيماتُ المائعِ في مساراتٍ تُسمّى خطوطَ الانسياب، وهي خطوطٌ تعبِّرُ عن المساراتِ التي تسلكُها جُسيماتُ المائعِ أثناءَ الجريانِ وهي خطوطٌ وهميَّة. يتميزُ جريانُ المائع بواحدةٍ من طريقتين هما: **الجريانُ الانسيابيُّ (المنتظَم) أو الانسيابُ المضطرب**. يحدثُ الجريانُ الانسيابيُّ **إذا كان كلُّ جسيمٍ يمرُّ في نقطةٍ معيَّنةٍ سالكًا المسارَ السلسَ نفسَهُ الذي سلكتهُ خطوطُ الجريانِ المختلفة**، ومطابقًا لمسارِ خطِّ الجريانِ على كلِّ نقطةٍ، مع المحافظةِ على اتجاهِ جريانِ المائعِ عند تلك النقطة. تعتبرُ امتداداتُ النهرِ مناطقَ الجريانِ الانسيابيّ.

في المقابلِ يصبحُ جريانُ المائعِ *مضطربًا* أو غيرَ منتظمٍ إذا تجاوزَ سرعةً معيَّنةً أو كان تحت تأثيرِ ظروفٍ قد تسبِّبُ تغيراتٍ مفاجئةً في السرعة، كوجودِ معوِّقاتٍ أو منعطفاتٍ حادةٍ في النهر. تُسمّى هذه التحرُّكاتُ غيرُ المنتظمةِ للمائعِ *تياراتٍ دوّاميةً*، وهي ما يميزُ الجريانَ المضطرب. تعتبرُ الخضربَةُ، أي الأثرُ الذي يتركُهُ مخرُ السفينةِ في المياه، أو تأثيراتُ تياراتِ الهواءِ نتيجةً لعاصفةٍ رعديةٍ قويةٍ، من الأمثلةِ على الجريانِ المضطرب.



**الشكل 3-10**
يتميّزُ جريانُ الماءِ حولَ الأسطوانةِ بأنه انسيابيٌ ومضطرب.

يظهرُ في **الشكل 3-10** صورةٌ لجريانِ الماءِ حول أسطوانة. لقد أضيفَتْ فقاعاتُ الهيدروجينِ إلى الماءِ لتجعلَ خطوطَ الجريانِ والتياراتِ الدوامية مرئية. لاحظِ الفرقَ الشاسعَ بين نمطَيِ الجريان: الجريان الانسيابي والجريانِ المضطرب. فالجريانُ الانسيابيُّ سهلٌ جدًّا وصالحٌ للنمذجة، لأنه قابلٌ لأن يتمَّ التنبؤُ به، بينما يكونُ الجريانُ المضطربُ مشوشًا ويصعبُ التنبؤ به.

### نموذجُ المائعِ المثاليّ

**المائعُ المثاليّ**

المائعُ الذي ليس في داخلِه احتكاكٌ أو لزوجةٌ ولا ينضغط.

يمكنُنا تفهُّمُ عدةِ مزايا لحركةِ المائعِ من خلالِ دراسةِ سلوكِ **المائعِ المثاليّ** ideal fluid. حين كنا نناقشُ الكثافةَ وقوةَ الطفو، افترضْنا أن جميعَ الموائعِ المستعملة في المسائلِ كانَتْ عمليًّا غيرَ قابلةٍ للانضغاط. يكونُ المائعُ غيرَ قابلٍ للانضغاطِ إذا بقيَتْ كثافتُهُ دائمًا ثابتة.

وترتبطُ *اللزوجةُ* بمقدارِ الاحتكاكِ داخلَ المائع. قد يحدثُ الاحتكاكُ الداخليُّ عندما تنزلقُ طبقةٌ من المائعِ فوق أخرى. يكونُ جريانُ مائعٍ لزجٍ جدًّا، داخل أنبوب، أبطأَ بكثيرٍ من جريانِ مائعٍ أقلَّ لزوجة. عند جريانِ مائعٍ لزجٍ، يتحولُ جزءٌ من طاقةِ حركتِهِ إلى

طاقةٍ داخليةٍ نتيجةً للاحتكاكِ الداخلي. تعتبَرُ الموائعُ المثاليةُ غيرَ لزجةٍ، ويعني ذلك أنها لا تخسرُ طاقةً داخليَّةً عند انسيابِها.

تتميَّزُ الموائعُ المثاليةُ أيضًا بجريانِها المنتظم، أي تكونُ السرعةُ والكثافةُ والضغطُ ثابتةً عند كلِّ نقطةٍ من المائع. فجريانُ المائعِ المثاليِّ غيرُ مضطربٍ أيضًا، وهذا يعني غيابَ التياراتِ الدُّوَّاميةِ في المائعِ المتحرِّك.

وبالرغم من أن صفاتِ المائعِ المثاليِّ لا تنطبقُ على أيِّ مائعٍ حقيقيٍّ، فإن نموذَجَهُ يساعدُ في تفسيرِ عدةِ خصائصَ للمائعِ الحقيقيّ. فهذا النموذجُ أداةٌ فعّالةٌ في التحليل. وما لم يعيَّنْ غيرُ المائعِ المثاليّ، تُعتبرُ جميعُ الموائعِ التي سنأتي على ذكرِها خلالَ مناقشتِنا لجريانِ المائعِ موائعَ مثالية.

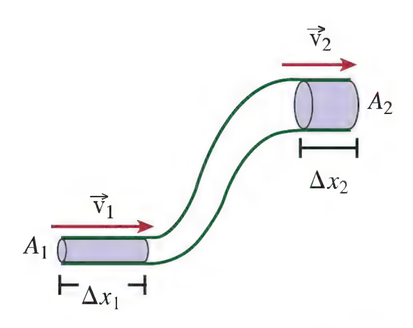
## هل تعلم؟

تتضمَّنُ الإعلاناتُ الملصقةُ للتعريفِ عن زيتِ المحركاتِ مؤشرَ اللزوجةِ تبعًا لمعاييرَ عالمية. فالزيوتُ ذاتُ اللزوجةِ العاليةِ تستعملُ في المناخِ الحارِّ ولسرعةِ قيادةٍ عاليةٍ، بينما تُستعملُ الزيوتُ المتدنيةُ اللزوجةِ في المناخاتِ القارسةِ البرد حيث يكونُ المحرِّكُ باردًا في معظمِ الأوقات.

# مبادئُ جريانِ المائع

إن دراسةَ سلوكِ المائعِ معقّدةٌ جدًّا. فالتحليلُ التفصيليُّ للقوى المؤثرةِ في المائعِ قد يكونُ صعبًا إلى حدٍّ يعجِزُ الحاسوبُ عن ابتكارِ نموذجٍ له. لكن يمكنُ اشتقاقُ مبادئَ عامةٍ تصفُ سلوكَ المائعِ بسهولةٍ نسبيًّا، انطلاقًا من قوانينَ فيزيائيةٍ أساسية.

**معادلةُ الاستمرارية، نتيجةٌ لحفظِ الكتلة.** تصوَّرْ مائعًا مثاليًّا يجري إلى الداخلِ من أحدِ طرفَيْ أنبوبٍ ويخرجُ من الطرفِ الآخر، كما يظهرُ في **الشكل 3-11**. يختلفُ قياسُ نصفِ قطرِ الأنبوبِ عند طرفَيْه. كيف تتغيرُ سرعةُ جريانِ المائعِ عند مرورِهِ داخلَ الأنبوب؟




**الشكل 3-11**
الكتلةُ الجاريةُ إلى داخلِ الأنبوبِ تساوي حتمًا الكتلةَ الجاريةَ إلى خارجِهِ في الفترةِ الزمنيةِ نفسِها.

بما أن الكتلةَ محفوظةٌ والمائعَ غيرُ انضغاطيٍّ، يلزمُ أن تكونَ الكتلةُ المنسابةُ إلى داخلِ الأنبوب، $m_1$، مساويةً للكتلةِ الجاريةِ إلى خارجِ الأنبوبِ في أعلاه، $m_2$، خلال أيِّ فترةٍ زمنية:

$$m_1 = m_2$$

علمًا أن $m = \rho V$ وحجمَ الأسطوانةِ يساوي $V = A\Delta x$،

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

$$\rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_2 A_2 \Delta x_2$$

بما أن طولَ الأسطوانةِ $\Delta x$ يساوي المسافةَ التي يقطعُها المائعُ والتي هي بدورِها تساوي سرعةَ الانسيابِ مضروبةً في الفترةِ الزمنية، فإن

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

الكثافةُ والفترةُ الزمنيةُ، بالنسبةِ إلى مائعٍ مثاليّ، هما أنفسُهما، لذا يمكنُ اختصارُهُما من جانبَيِ المعادلة. والمعادلةُ الناتجةُ هي معادلةُ الاستمرارية:

**معادلةُ الاستمرارية**

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

**مساحة المقطع الأوّل × السرعة في الجزء 1 = مساحة المقطع الثاني × السرعة في الجزء 2**

## سرعةُ التدفّقِ تعتمدُ على مساحةِ المقطعِ العرضيّ

تلاحظُ في معادلةِ الاستمراريةِ أن $A_1$ و $A_2$ يمكنُ أن يعبِّرا عن أيِّ مساحتينِ لمقطعين مختلفتينِ للأنبوبِ وليس عن الطرفينِ فقط. تدلُّ المعادلةُ أن جريانَ المائعِ يكونُ أسرعَ في الجزءِ الضيِّقِ من الأنبوبِ وأبطأَ في الجزءِ الواسعِ. يُسمّى **حاصلُ الضربِ $Av$ معدلَ التدفقِ الحجميِّ** ويقاسُ بوحدةِ الحجمِ إلى وحدةِ الزمنِ $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ . يكونُ معدَّلُ التدفقِ ثابتًا على طولِ الأنبوبِ.

تفسِّرُ معادلةُ الاستمراريةِ تأثيرًا يمكنُكَ اختبارُهُ بوضعِ إبهامِكَ على طرفِ خرطومِ مياهِ الحديقةِ، كما يظهرُ في **الشكل 3-12**. يَسُدُّ الإبهامُ جُزءًا من المساحةِ التي يخرجُ منها ماءُ الخرطومِ، يندفعُ الماءُ بانطلاقٍ أكبرَ مما لو كان العكس. تفسِّرُ معادلةُ الاستمراريةِ أيضًا لماذا يتدفَّقُ النهرُ في الأماكنِ الضيقةِ والضحلةِ بانطلاقٍ أكبرَ مما في الأماكنِ الواسعةِ والعميقةِ.



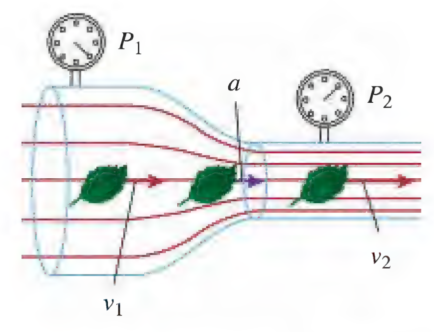


**الشكل 3-12**
إبهامُك يضيِّقُ مساحةَ الفوهةِ في طرفِ الخرطومِ فيزيدُ ذلك من سرعةِ اندفاعِ الماءِ.

## علاقةُ ضغطِ المائعِ بسرعةِ تدفُّقِه

افترضْ وجودَ ورقةِ شجرٍ تجري في الماءِ داخلَ أنبوبِ مياهِ الصرفِ الصحّي، كما يظهرُ في **الشكل 3-13**. تفيدُ معادلةُ الاستمراريةِ أن انسيابَ الماءِ داخلَ الجزءِ الضيِّقِ من الأنبوبِ يكونُ أسرعَ منه داخلَ الجزءِ الواسعِ. تتسارعُ الورقةُ والماءُ إذنْ لدى مرورِهما حيث تخصُّرَ الأنبوبِ.

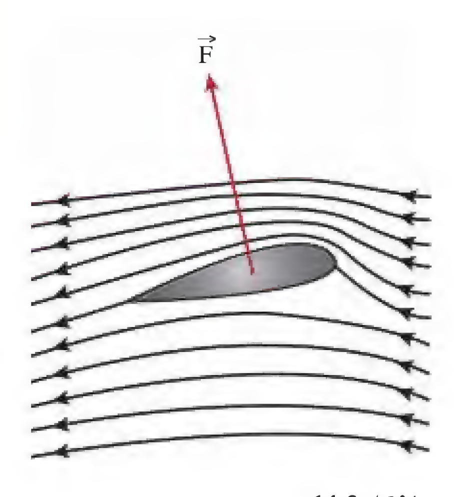
إذا كانتِ الورقةُ والماءُ يتسارعانِ عند دخولِهما التخصُّرَ، فلا بدَّ من أن يكونَ هذا التسارعُ، تبعًا للقانونِ الثاني لنيوتن، سببُه قوةٌ غيرُ متوازنةٍ وناتجةٌ من كونِ ضغطِ الماءِ أمامَ الورقةِ أقلَّ من ضغطِهِ خلفَها. يسبِّبُ هذا الفرقُ في الضغطِ تولُّدُ قوَّةٍ تسبِّبُ تسارعَ الورقةِ والماءِ من حولِها عند دخولِها الجزءَ الضيقَ من الأنبوبِ. يوضِّحُ هذا المثالُ مبدأً عامًّا يُسمّى *مبدأ برنولي*، التالي نصُّه:




**الشكل 3-13**
تتسارعُ ورقةُ الشجرِ عند مرورِها في تخصُّرِ الأنبوبِ. يشيرُ مقياسُ الضغطِ إلى أن ضغطَ الماءِ إلى اليمينِ هو أقلُّ من الضغطِ إلى اليسارِ.

> **مبدأُ برنولي**
>
> **يَنقصُ الضغطُ في المائعِ عندما تزدادُ سرعتُه.**

يتمُّ تفسيرُ قوةِ الرفعِ المؤثِّرةِ في جناحِ الطائرةِ بالاعتمادِ على مبدأ برنولي. عندما تحلِّقُ الطائرةُ ينسابُ الهواءُ حول جناحَيْها وجسمِها، كما يظهرُ في **الشكل 3-14**. لقد صُمِّمَ الجناحانِ بشكلٍ يوجِّهُ فيه انسيابُ الهواءِ بحيثُ تصبحُ سرعتُهُ فوقَ الجناحِ أكبرَ من سرعتِهِ تحت الجناحِ. ويصبحُ بالتالي ضغطُ الهواءِ فوقَ الجناحِ أقلَّ من ضغطِهِ تحت الجناحِ، وهذا يُحدِثُ قوةً محصِّلةً إلى أعلى مؤثرةً في الجناحِ تُسمى *قوةَ الرفعِ*.




**الشكل 3-14**
عند انسيابِ الهواءِ حولَ الجناحِ تكونُ سرعتُه فوقَ الجناحِ أكبرَ منها تحتَه، وهذا يؤدِّي إلى جعلِ ضغطِ الهواءِ أسفلَ الجناحِ أكبرَ من ضغطِه فوقَ الجناحِ، وهو ما يحدِثُ رفعًا للجناحِ.

## تربطُ معادلةُ برنولي بين الضغطِ والطاقةِ في حالةِ المائعِ المتحرِّك

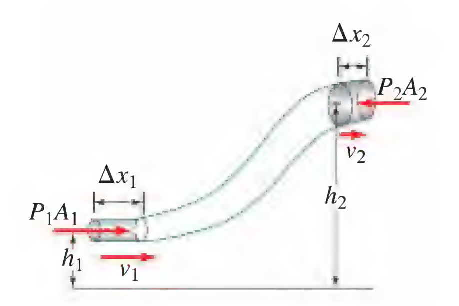
تخيَّلْ مائعًا يتحركُ داخلَ أنبوبٍ بمقطعٍ عرضيٍّ وارتفاعٍ متغيرين، كما يظهرُ في **الشكل 3-15**. عندما ينسابُ المائعُ إلى مناطقَ ذاتِ مقطعٍ عرضيٍّ متغيِّرٍ، تتغيرُ سرعتُهُ وضغطُهُ على طولِ خطِّ الانسيابِ. ومع تغيرِ سرعةِ المائعِ تتغيرُ طاقةُ حركتِهِ أيضًا. هذا التغيرُ في طاقةِ الحركةِ قد يعوِّضُهُ تغيُّرٌ آخرُ في الطاقةِ الكامنةِ أو تغيُّرٌ في الضغطِ، وتبقى الطاقةُ محفوظةً.

يُسمّى تعبيرُ حفظِ الطاقةِ في الموائع *معادلةَ برنولي*، وتكتبُ كالتالي:

**معادلةُ برنولي**

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{ثابت}$$

**الضغط + طاقة الحركة لوحدة الحجم +**
**الطاقة الكامنة لوحدة الحجم =**
**ثابت على طول خط انسيابي معيَّن**

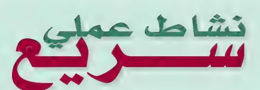



**الشكل 3-15**
عند جريانِ المائعِ داخلَ الأنبوبِ قد يتعرّضُ لتغيُّرٍ في السرعةِ والضغطِ والارتفاع.

تلاحظُ الاختلافَ البسيطَ في معادلةِ برنولي عن قانونِ حفظِ الطاقةِ. أولاً، هناك تعبيرانِ إلى الجهةِ اليسرى من المعادلةِ يشبهانِ تعبيرَيْ طاقةِ الحركةِ والطاقةِ الكامنة، إلا أنهما يتضمّنانِ الكثافةَ $\rho$ بدلاً من الكتلةِ $m$. السببُ هو أن الكميّةَ المحفوظةَ في معادلةِ برنولي هي كميةُ الطاقةِ لوحدةِ الحجم – ليس فقط الطاقة – وأنَّ الكثافةَ معادلةٌ للكتلةِ لوحدةِ الحجم. تتضمّنُ معادلةُ حفظِ الطاقةِ في الموائعِ تعبيرًا إضافيًّا أيضًا هو الضغطُ $P$. نلاحظُ أن وحداتِ الضغطِ معادلةٌ لوحداتِ الطاقةِ لوحدةِ حجم.

إذا شئتَ مقارنةَ الطاقةِ بحجمٍ معيَّنٍ من المائعِ في نقطتينِ مختلفتين، يتعدَّلُ شكلُ معادلة برنولي لتصبحَ كالتالي:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$




**مبدأ برنولي**

**الموادّ**

✓ ورقة واحدة

تستطيعُ التحقُّقَ من تأثيراتِ مبدأ برنولي في ورقةٍ إذا أمسكْتَها أفقيًّا من طرفِها ونفخْتَ على سطحِها العلويّ. يجبُ أن ترتفعَ الورقةُ نتيجةَ قلةٍ في ضغطِ الهواءِ فوقَها.

## الحالةُ الخاصةُ بمعادلةِ برنولي (مبدأ برنولي)

من الجديرِ بالذكرِ حالتانِ خاصتانِ بمعادلةِ برنولي.

أولاً، **إذا كان المائعُ لا يتحرَّكُ** تكونُ السرعتانِ صفرًا. تعتبرُ هذه الحالةُ ساكنة كسكونِ عمودٍ من الماءِ داخل أسطوانة. إذا افترضْنا أن ارتفاعَ قمَّةِ العمودِ $h_1$ هو المستوى الصفريّ و $h_2$ هو العمق، تتحوَّلُ معادلةُ برنولي إلى معادلةٍ بدلالةِ العمق:

$$P_1 = P_2 + \rho g h_2 \text{ (مائع ساكن)}$$

ثانيًا، **إذا تحرَّكَ المائعُ داخلَ أنبوبٍ أفقيٍّ فيه تخصُّرٌ**، كما يظهرُ في **الشكل 3-16**. بما أن ارتفاعَ المائعِ ثابتٌ، فالطاقةُ الكامنةُ لا تتغيَّر. تُختصرُ عندها معادلةُ برنولي إلى الشكلِ التالي:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \text{ (أنبوب أفقي)}$$




**الشكل 3-16**
عند تدفُّقِ المائعِ إلى داخلِ أنبوبٍ أفقيٍّ فيه تخصُّرٌ وعلى ارتفاعٍ ثابتٍ، يتعرضُ المائعُ لتغيُّرٍ في السرعةِ والضغط.

إذا كانَتْ $v_1$ أكبرَ من $v_2$ في نقطتينِ مختلفتينِ من المجرى، تكونُ $P_1$ أصغرَ من $P_2$. بتعبيرٍ آخرَ ينقصُ الضغطُ عندَما تزدادُ السرعة. هذا هو مبدأُ برنولي مرّةً أخرى وهي حالةٌ خاصةٌ لمعادلتِه. الشرطُ المطلوبُ لهذه الحالةِ يفيدُ أن مبدأ برنولي يكونُ صحيحًا حتمًا فقط عندَما يكونُ الارتفاعُ ثابتًا.

## مثال 3 (د)

**معادلة برنولي**

### المسألة

**خزانُ ماءٍ في أسفلِ أحدِ جوانبه فوَّهةٌ صغيرةٌ وأعلاهُ مفتوحٌ على الفضاء. جدْ سرعةَ اندفاعِ الماءِ من الفوَّهةِ إذا كان ارتفاعُ الماءِ فوق الفوَّهةِ 0.500 m .**

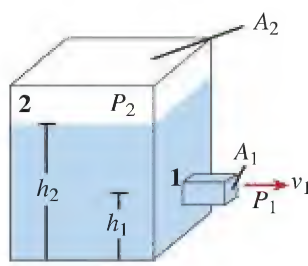
### الحــلّ

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $h_2 - h_1 = 0.500\ \text{m}$

**المجهول:** $v_1 = ?$

**الرسم:**




**2. أخطِّط**

**أختارُ معادلةً أو موقفًا:** بما أن المسألةَ تتضمّنُ مائعًا يجري واختلافاتٍ في الارتفاع، فحلُّها يتطلّبُ تطبيقَ معادلةِ برنولي.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho {v_1}^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho {v_2}^2 + \rho g h_2$$

تكونُ النقطةُ **1** على مستوى الفوَّهةِ والنقطةُ **2** على مستوى سطحِ الماءِ في الخزّان. إذا افترضْنا أن الفوَّهةَ صغيرةٌ وأن هبوطَ مستوى الماءِ بطيءٌ جدًّا، نستطيعُ اعتبارَ $v_2$ تقريبيًا صفرًا.
لاحظْ أيضًا أن $P_1 = P_0$ و $P_2 = P_0$، لأن الفوَّهةَ وأعلى الخزّان مفتوحانِ على الفضاء.

$$P_0 + \frac{1}{2}\rho {v_1}^2 + \rho g h_1 = P_0 + \rho g h_2$$

**3. أحسب**

**أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهول:**

$$\frac{1}{2}\rho {v_1}^2 = \rho g h_2 - \rho g h_1$$

$${v_1}^2 = 2g(h_2 - h_1)$$

$$v_1 = \sqrt{2g(h_2 - h_1)}$$

**أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحلّ:**

$$v_1 = \sqrt{2(9.81\ \text{m/s}^2)(0.500\ \text{m})}$$

$$\boxed{v_1 = 3.13\ \text{m/s}}$$

**4. أقيِّم**

تقديرٌ سريعٌ يعطي التالي:

$$v_1 = \sqrt{2(10)(0.5)} \approx 3\ \text{m/s}$$

## تطبيق 3 (د)

### معادلةُ برنولي

1. اتَّضحَ وجودُ ثقبٍ في أحدِ جوانبِ خزّانٍ ممتلئ بالماءِ وهو مفتوحٌ على الفضاء، يقعُ الثقبُ على مسافةِ 16 m تحت مستوى سطحِ الماء. إذا كان معدلُ تدفّقِ الماء $\frac{2.5 \times 10^{-3}}{60}$ m³/s، فما:
   أ. سرعةُ اندفاعِ الماءِ من الثقب؟
   ب. قطرُ الثقب؟
2. يجري سائلٌ كثافتُه $1.65 \times 10^3$ kg/m³ داخلَ قسمَينِ أفقيّين متصلَينِ من طرفٍ إلى آخرَ في شبكةِ أنابيب. مساحةُ المقطعِ العرضيِّ للقسمِ الأول 10.0 cm²، وسرعةُ جريان السائلِ 275 cm/s، وضغطُهُ $1.20 \times 10^5$ Pa. إذا كانت مساحةُ المقطعِ العرضيِّ للقسمِ الثاني 2.50 cm²، فما:
   أ. سرعةُ الجريانِ في القسمِ الأصغر؟
   ب. الضغطُ في القسمِ الأصغر؟
3. عند الشهيقِ يتحرَّكُ الهواءُ داخلَ القصبةِ الهوائيةِ بسرعة 15 cm/s. يتضاعفُ متوسطُ سرعةِ الهواءِ عند عبورِهِ تخصُّرًا أو تضييقًا في إحدى شعبتَيِ القصبة. افترضْ وجودَ جريانٍ انسيابيٍّ (غير انضغاطيٍّ)، جِدِ انخفاضَ الضغطِ في التخصُّر.

## مراجعة القسم 3-3

1. يلزمُ 30.0 s لملءِ دلوٍ بالماءِ بوساطةِ خرطومِ الحديقة. إذا سدَدْتَ جزءًا من فوّهةِ الخرطومِ بإبهامِكَ لتصبحَ سرعةُ اندفاعِ الماءِ ضعفَيْ سرعتِهِ الابتدائية، فكم من الوقتِ يلزمُكَ لملءِ الدلو؟
2. يتدفّقُ الماءُ بضغطِ $3.00 \times 10^5$ Pa داخل أنبوبٍ أفقيٍّ بسرعةِ 1.00 m/s، ويضيقُ الأنبوبُ إلى $\frac{1}{4}$ قطرِهِ الأصلي، جدّ:
   أ. سرعةَ التدفّقِ في الجزءِ الضيّق.
   ب. الضغطَ في الجزءِ الضيق.
3. يُزوَّدُ بناءٌ بالماءِ بوساطةِ أنبوبٍ أساسيٍّ أفقيٍّ قطرُهُ 6.0 cm. يتمّ توصيل هذا الأنبوب بأنبوب آخر يرتفع فوقه مسافة 2.0 m، وبنهايته صنبور قطرُهُ 2.0 cm يصبّ في وعاءٍ سعتُهُ $2.5 \times 10^{-2}$ m³ ويملؤه خلالَ 30.0 s.
   أ. ما سرعةُ اندفاعِ الماءِ من الصنبور؟
   ب. ما مقياسُ الضغطِ في الأنبوبِ الأساسي؟

# ملخّصُ الفصل 3

## مصطلحاتٌ أساسيةٌ

| | |
|---|---|
| المائع | Fluid (ص 50) |
| الكثافةُ الكتليَّة | Mass density (ص 51) |
| قوةُ الدفع | Buoyant force (ص 51) |
| الضغط | Pressure (ص 57) |
| درجةُ الحرارة | Temperature (ص 63) |
| مائع مثالي | Ideal fluid (ص 64) |

## أفكارٌ أساسيةٌ

### القسم 3-1 الموائعُ وقوةُ الدفع

- المائعُ مادةٌ تستطيعُ الجريان، لذلك ليس لها شكلٌ محدّد. السوائلُ والغازاتُ كلتاهما موائع.
- قوةُ الدفعِ قوةٌ تتَّجهُ إلى أعلى يبذلُها المائع على الجسمِ الذي يطفو فوقهُ أو يغوصُ فيه.
- مقدارُ قوةِ الدفعِ لجسمٍ مغمورٍ أو طافٍ يتحدَّدُ بالاعتمادِ على مبدأ أرخميدس، وهو يساوي وزنَ المائعِ المزاح (الذي حلَّ محلَّهُ الجسم).
- مقدارُ قوةِ الدفعِ لجسمٍ طافٍ يساوي وزنَ الجسمِ الطافي، لأن الجسمَ متَّزن.

### القسم 3-2 ضغطُ المائعِ ودرجةُ حرارته

- الضغطُ مقياسٌ لمقدارِ القوةِ المؤثرةِ عموديًّا في مساحةٍ معيَّنة.
- تبعًا لمبدأ باسكال ينتقلُ الضغطُ المطبَّقُ في وعاءٍ مغلقٍ بالتساوي إلى جميعِ نقاطِ المائعِ وجدرانِ الوعاء من دون نقص.
- الضغطُ في المائعِ يزدادُ مع ازديادِ العمق.

### القسم 3-3 حركةُ الموائع

- تُظهرُ الموائعُ المتحرِّكةُ تدفُّقًا انسيابيًّا (سلسًا) أو مضطربًا.
- تبعًا لمعادلةِ الاستمراريةِ، تساوي كميةُ المائعِ التي تخرجُ من الأنبوبِ في فترةٍ زمنيةٍ معيَّنةٍ الكميةَ التي تدخلُ فيه في الفترةِ نفسِها.
- تبعًا لمبدأ برنولي، الموائعُ المتحرِّكةُ بسرعةٍ تبذلُ ضغطًا أقلَّ من الموائعِ المتحرِّكةِ ببطء.

### رموزُ المتغيِّرات

| الكمية | الوحدة | التحويل |
|---|---|---|
| الكثافة $\rho$ | $kg/m^3$ كيلوغرام / متر مكعب | $1\ kg/m^3 = 10^{-3}\ g/cm^3$ |
| الضغط $P$ | Pa باسكال | $1\ Pa = 1\ N/m^2$ $= 10^{-5}\ atm$ |



# مراجعةُ الفصل 3

## راجعْ وقيِّمْ

## الكثافةُ والطَّفْو

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**1.** إذا غطَّستَ في بركةِ ماءٍ كرةَ شاطىءٍ منفوخةً ثم أفلتَّها، تلاحظُ أنها تندفعُ إلى أعلى خارجَ الماء. اشرحِ السببَ مستعملاً مبدأ أرخميدس.

**2.** هل في الماءِ أم في الزئبقِ يطفو مكعبٌ ثلجيٌّ أكثرَ إلى أعلى؟ (استعملِ **الجدول 3-1** ص 51.)

**3.** غُطِّسَ مكعبٌ ثلجيٌّ في كوبِ ماء. ماذا يحدثُ لمستوى الماءِ عند انصهارِ الثلج؟

**4.** هل تطفو الباخرةُ أكثر إلى أعلى في بحيرةِ ماءٍ عذبٍ أم في المحيط؟

**5.** الفولاذُ أكثرُ كثافةً من الماء. كيف تفسِّرُ طفوَ قاربٍ مصنوعٍ من الفولاذِ في الماء؟

**6.** تمَّ ربطُ قطعةٍ فولاذيةٍ صغيرةٍ بأعلى قالبٍ خشبي. عند وضعِهما معًا في حوضِ ماء، يُلاحَظُ أن نصفَ القالبِ قد انغمرَ في الماء. عند وضعِهما مستقلَّين في الماء، أيزيدُ الحجمُ المغمورُ من القالب، أم ينقص؟ أم يبقى هو نفسَه؟

**7.** يتمُّ وزنُ دلوِ ماءٍ تستقرُّ فيها سمكةٌ بلا حراك. هل تتغيَّرُ قراءةُ الميزانِ عندما تبدأُ السمكةُ بالسباحة؟

### مسائلُ تطبيقية

**8.** يزنُ جسمٌ 315 N في الهواءِ و 265 N في الماء، و 269 N في الزيت. جدِ التالي:

أ. كثافةَ الجسم

ب. كثافةَ الزيت

(انظرِ المثال 3 (أ).)

**9.** تزنُ عيِّنةٌ من مادةٍ غيرِ معروفةٍ 300.0 N في الهواء، و 200.0 N في محلولٍ من الكحول كثافتُهُ $0.70 \times 10^3$ kg/m³. ما كثافةُ هذه المادة؟ (انظرِ المثال 3 (أ).)

## الضغط

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**10.** في أيةِ حالةٍ يتعرّضُ قالبٌ معيَّنٌ لضغطٍ أقلّ، عند وضعِهِ فوق مسمارٍ واحدٍ أم فوق عدَّةِ مسامير؟ اشرحْ.

**11.** إذا وُضِعتْ إبرةٌ فولاذيةٌ بهدوءٍ أفقيًّا على سطحِ الماء فإنها تطفو، بينما تغرقُ إذا وضعتَها بشكلٍ عمودي. اشرحِ السبب.

**12.** يتألّفُ المبنى الأسطوانيُّ (السايلو) الذي يُحفَظُ فيه علفُ الدوابّ، **الشكل 3-17**، من عدةِ أحزمةٍ تُلَفُّ حولَ محيطِه. لماذا تكونُ المسافاتُ بين الأحزمةِ المتتابعةِ أصغر كلما اقتربْنا من القاعدة؟



**الشكل 3-17**

**13.** أيُّ سدٍّ مائيٍّ هو الأقوى: السدُّ الذي يحجزُ $1.0 \times 10^5$ m³ من الماءِ على عمقِ 10 m أم السدُّ الذي يحجزُ 1000 m³ من الماءِ على عمقِ 20 m؟

**14.** اشرحْ بدلالةِ النظريةِ الحركيةِ للغازات:

أ. تمدُّدَ الغازِ عندما يُسخَّن.

ب. الضغطَ الذي يبذُلُهُ الغاز.

**15.** عند استعمالِكَ قصبةً للشرب، تقلِّلُ الضغطَ داخلَ فمِكَ فيدفعُ الضغطُ الجويُّ السائلَ داخل القصبة. هل تستطيعُ استعمالَ قصبةِ الشربِ على سطحِ القمر؟

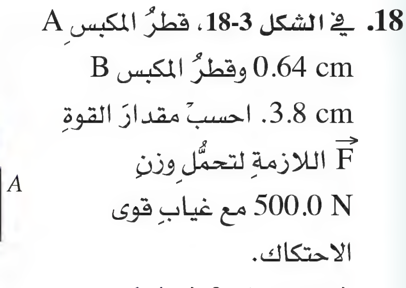
### مسائلُ تطبيقية

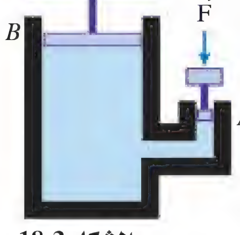
**16.** يبلغُ الضغطُ المطلقُ للهواءِ داخلَ إطاراتِ السيارةِ الأربعة $2.0 \times 10^5$ Pa. احسبْ وزنَ السيارةِ إذا كانت مساحةُ التماسِّ بين الإطارِ والأرض 0.024 m².

**17.** يبلغُ ضغطُ الماءِ داخلَ أنبوبٍ $5.00 \times 10^5$ Pa أكثر من الضغطِ الجويّ. إذا أحدثْتَ ثقبًا بقطرِ 4.00 mm في

الأنبوبِ وسدَّتْهُ بعلكةٍ، فما مقدارُ القوةِ التي تتحملُها العلكة؟ (انظرِ المثال 3 (ب).)

**18.** في **الشكل 3-18**، قطرُ المكبسِ A ‏$0.64\ cm$ وقطرُ المكبسِ B ‏$3.8\ cm$. احسبْ مقدارَ القوةِ $\vec{F}$ اللازمةِ لتحمُّلِ وزنِ $500.0\ N$ مع غيابِ قوى الاحتكاك.
(انظرِ المثال 3 (ب).)





**الشكل 3-18**

**19.** تستقرُّ غواصةٌ في المحيطِ على عمقِ $250\ m$.
أ. احسبِ الضغطَ المطلقَ (الكلّيَّ) على هذا العمقِ مفترضًا أن كثافةَ الماءِ $1.025 \times 10^3\ kg/m^3$ والضغطَ الجويَّ $1.01 \times 10^5\ Pa$. (انظرِ المثال 3 (ج).)
ب. احسبْ، على هذا العمقِ، مقدارَ القوةِ الكليةِ المبذولةِ على نافذةٍ مستديرةٍ للغواصة قطرُها $30.0\ cm$. (انظرِ المثال 3 (ج).)

# انسيابُ المائع

## أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**20.** تعيشُ الكلابُ البريةُ في جحورٍ ذاتِ مدخلَين. لتهويةِ الجحورِ تقومُ الكلابُ ببناءِ هضبةٍ صغيرةٍ أو كومةِ ترابٍ أمامَ أحدِ المدخلَين، بينما يبقى المدخلُ الآخرُ مفتوحًا للهواءِ الساكنِ على مستوى سطحِ الأرض. استعملْ مبدأَ برنولي لتفسِّرَ كيف يساهمُ هذا التصميمُ في توفيرِ حركةِ الهواءِ داخلَ الجحر.

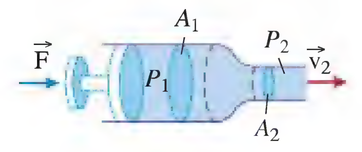
**21.** يتمُّ توزيعُ المياهِ عادةً على المنازلِ بعد تخزينِها في خزاناتٍ خاصةٍ على أرضٍ مرتفعة. لماذا يكونُ اندفاعُ الماءِ من حنفيّةٍ في الطابقِ الأرضيِّ أسرعَ من اندفاعِه من حنفيّةٍ مماثلةٍ في الطوابقِ العليا؟

**22.** عند نفخِ الهواءِ فوق قمةِ كرةِ طاولةٍ بوساطةِ مجفّفِ الشعرِ الكهربائيِّ تُلاحظُ أنها ترتفعُ وتتأرجحُ في الهواء. كيف يمكنُ أن يحدثَ ذلك؟

## مسائلُ تطبيقية

**23.** يلحظُ مزارعٌ وجودَ ثقبٍ في أسفلِ خزانٍ للماءِ معدٍّ للريِّ على مسافةِ $0.30\ m$ تحتَ مستوى سطحِ الماء. ما سرعةُ اندفاعِ الماءِ من الثقبِ، علمًا أن الخزانَ مفتوحٌ على الجوّ؟ (انظرِ المثال 3 (د).)

**24.** تحتوي المحقنةُ الظاهرةُ في **الشكل 3-19**، على دواءٍ سائلٍ كثافتُهُ تساوي كثافةَ الماء، ومساحةُ المقطعِ العرضيِّ لجذعِ المحقنةِ الأسطوانيِّ $2.50 \times 10^{-5}\ m^2$، بينما تساوي مساحةُ المقطعِ العرضيِّ لإبرتِها $1.00 \times 10^{-8}\ m^2$. في غيابِ قوةٍ ضاغطةٍ على المكبسِ يكونُ الضغطُ في كلِّ مكانٍ مساويًا للضغطِ الجويّ. وحين تطبَّقُ قوةٌ مقدارُها $2.00\ N$ على المكبسِ يندفعُ الدواءُ من الإبرة. افترضْ أن الضغطَ في الإبرةِ يبقى مساويًا للضغطِ الجوي، وأن المحقنةَ أفقيّةٌ، وسرعةَ خروجِ سائلٍ منها هي نفسُها سرعةُ سائلٍ في الإبرة. جدْ سرعةَ خروجِ سائل.



**الشكل 3-19**

# مراجعةٌ عامَّة

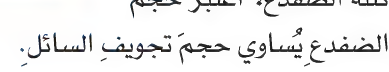
**25.** يزنُ مهندسٌ عيِّنةً من الزئبقِ $(\rho = 13.6 \times 10^3\ kg/m^3)$ فيجدُ وزنَها $4.5\ N$. ما حجمُ هذه العينة؟

**26.** ما مقدارُ القوةِ التي يبذُلُها الضغطُ الجويُّ على $1.00\ km^2$ من الأرضِ عند مستوى سطحِ البحر؟

**27.** يجلسُ شخصٌ كتلتُهُ $70.0\ kg$ على كرسيٍّ كتلتُهُ $5.0\ kg$ وقد توزَّعَ وزنُهُ بالتساوي على أرجلِ الكرسيِّ الأربع. افترضْ أن مساحةَ مماسِّ رجلِ الكرسيِّ مع الأرضِ مستديرةٌ، ونصفَ قطرِها $1.0\ cm$، ما الضغطُ المبذولُ على الأرضِ بوساطةِ كلِّ رجل؟

**28.** تتسعُ رئتا سبّاحٍ، عند الغطسِ في بحيرةٍ، لـ $8.20 \times 10^{-4}\ m^3$ من الهواء. ما الضغطُ المُطلقُ عند الهواءِ على عمقِ $10.0\ m$، علمًا أن ضغطَ الهواءِ يساوي $95\%$ من الضغطِ الخارجيِّ في جميعِ الأوقات، والضغطَ الجويَّ $1.013 \times 10^5\ Pa$، وكثافةَ ماءِ البحيرةِ $1.00 \times 10^3\ kg/m^3$؟ (درجةُ الحرارةِ ثابتة).

**29.** يكادُ الضفدعُ الظاهرُ في **الشكل 3-20** أن يطفوَ في وعاءٍ نصفِ كرويٍّ نصفُ قطرِهِ 6.00 cm ويحتوي على سائلٍ كثافتُه $1.35 \times 10^3$ kg/m$^3$. ما كتلةُ الضفدعِ؟ اعتبرْ حجمَ الضفدعِ يُساوي حجمَ تجويفِ السائلِ.





**الشكل 3-20**

**30.** حوضُ سباحةٍ دائريٌّ يقعُ عند مستوى سطحِ البحرِ، قعرُهُ مسطَّحٌ وطولُ قطرِهِ 6.00 m. يُملأُ الحوضُ حتى ارتفاعِ 1.50 m.

أ. ما الضغطُ المطلقُ على القعرِ؟

ب. كم يزيدُ متوسّطُ الضغطِ المطلقِ على القعرِ إذا طفا شخصانِ في الحوضِ كتلتُهما معًا 150 kg؟

**31.** تهبُّ الريحُ فوق سطحِ منزلٍ بسرعةِ 30.0 m/s.

أ. افترضْ أن الهواءَ داخلَ المنزلِ ساكنٌ نسبيًّا، فما الفرقُ بين ضغطِ الهواءِ الخارجيِّ على السطحِ وضغطِ الهواءِ الداخليِّ؟

ب. ما القوةُ المحصّلةُ التي يبذُلُها هذا الفرقُ في الضغطِ على سطحٍ مساحتُهُ 175 m$^2$ وما اتّجاهُها؟

**32.** كيسٌ يحتوي على دمٍ كثافتُهُ 1050 kg/m$^3$ رُفِعَ إلى علوِّ 1.00 m فوق مستوى ذراعِ مريضٍ. كم زادَ ضغطُ الدمِ على الذراعِ برفعِ الكيسِ إلى هذا المستوى؟

**33.** يزدادُ رُسُوُّ الجزءِ المغمورِ بالماءِ من سفينةٍ حربيةٍ 2.5 cm فقط نتيجةً لوضعِ حمولةٍ على سطحِها تزنُ $1.0 \times 10^6$ N. قدّرْ مساحةَ المقطعِ العرضيِّ للسفينةِ عند مستوى سطحِ الماءِ. (انظرِ **الجدول 3-1** ص 51.)

**34.** وعاءٌ كتلتُهُ 1.0 kg يحتوي على 2.0 kg من زيتٍ كثافتُهُ 916 kg/m$^3$، وهو يستقرُّ على كفّةِ ميزانٍ، كما يظهرُ في **الشكل 3-21**. غُمِرَ قالبُ حديدٍ كتلتُهُ 2.0 kg بشكلٍ كاملٍ في الزيتِ بعد أن عُلِّقَ في قبّانٍ حلزونيٍّ. جدْ قراءةَ كلٍّ من القبّانِ والميزانِ. (انظرِ **الجدول 3-1** ص 51.)



**الشكل 3-21**

**35.** عوّامةٌ، حجمُها 0.60 m$^3$، صُنِعتْ من خشبٍ كثافتُهُ 600.0 kg/m$^3$. تبلغُ مساحةُ قعرِها السطحيّةُ 5.7 m$^2$. إلى أيِّ عمقٍ تحت سطحِ الماءِ تنغمرُ قاعدةُ العوّامةِ إذا وُضِعتْ في ماءٍ عذبٍ كثافتُهُ $1.0 \times 10^3$ kg/m$^3$؟

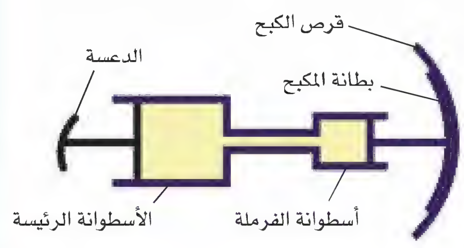
**36.** طولُ كتابِ الفيزياءِ 26 cm وعرضُهُ 21 cm وارتفاعُهُ 3.5 cm.

أ. ما كثافتُهُ إذا كان وزنُه 19 N؟

ب. ما الضغطُ الذي يسلِّطُهُ الكتابُ إذا وُضِعَ على وجهِهِ فوق الطاولةِ؟

ج. ما الضغطُ الذي يسلِّطُهُ الكتابُ إذا وُضِعَ شاقوليًّا؟

**37.** هناكَ جهازُ فرملةٍ هيدروليكيٌّ (**الشكل 3-22**) مزوَّدٌ بمكبسِ أسطوانةٍ رئيسةٍ مساحتُهُ 6.40 cm$^2$ أو بمكبسِ أسطوانةِ فرملةٍ مساحتُهُ 1.75 cm$^2$. جدْ قوةَ الاحتكاكِ بين بطانةِ أسطوانةِ المكبحِ وقرصِهِ، علمًا أن مُعاملَ الاحتكاكِ بينهما يساوي 0.50، والقوّةَ المبذولةَ على القرصِ 44 N.




**الشكل 3-22**

**38.** أنبوبٌ للغازِ الطبيعي، قطرُهُ 0.250 m، يعطي في الثانيةِ 1.55 m$^3$ من الغازِ. ما سرعةُ انسيابِ الغازِ؟

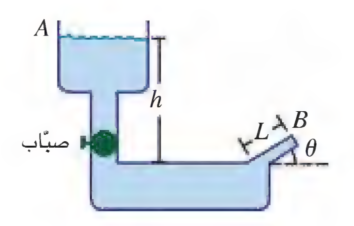
**39.** تطفو قطعةُ صابونٍ سمكُها 2.0 cm في الماءِ. والماءُ يصلُ إلى علوِّ 1.5 cm من القطعةِ. أضيفَ إلى الماءِ زيتٌ كثافتُهُ 900.0 kg/m$^3$ فوصلَ مستوى السطحِ الأعلى لقطعةِ الصابونِ إلى مستوى السطحِ الأعلى للزيتِ. ما عمقُ طبقةِ الزيتِ التي أضيفَت؟

**40.** كثافةُ الزيتِ 930 kg/m$^3$، لذلك يطفو الزيتُ فوق الماءِ. وهناك قالبٌ خشبيٌّ مستطيلُ الشكلِ كثافتُهُ 960 kg/m$^3$ وسمْكُهُ 4.00 cm يطفو بين الماءِ وبين الزيتِ الذي يغطيهِ كليًّا. إلى أيِّ عمقٍ تحت السطحِ الفاصلِ بين الماءِ والزيتِ يصلُ أسفلُ القالبِ؟

**41.** يزنُ قالبٌ خشبيٌّ 50.0 N في الهواءِ. عندَما يتدلّى غطّاسٌ من القالبِ والغطاسُ فقط مغمورٌ كليًّا بالماءِ، يكونُ وزنُ

القالبِ والغطّاس معًا $200.0 \mathrm{~N}$. أما عندما يكونانِ مغمورَيْنِ معًا بالماء فيكونُ وزنُهما $140.0 \mathrm{~N}$. جِدْ كثافةَ الخشب.

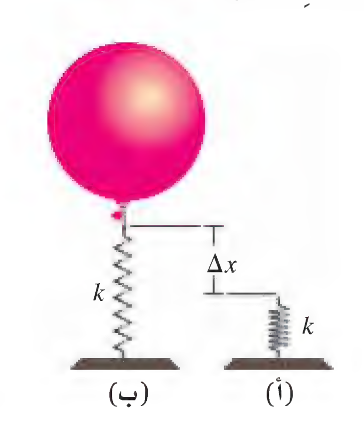
**42.** يظهرُ في **الشكل 3-23** خزانُ مياهٍ له أنبوبُ تفريغٍ في أسفلِه. ما أقصى ارتفاعٍ يصلُ إليه الماءُ المتدفّقُ من الجهةِ اليمنى للخزان؟ افترضْ أن $h = 10.0 \mathrm{~m}$ و $L = 2.0 \mathrm{~m}$ و $\theta = 30.0^{\circ}$، علمًا أن مساحة مقطعِ $A$ العرضيِّ أكبرُ بكثيرٍ من مساحةِ مقطعِ $B$ العرضي.




**الشكل 3-23**

**43.** يجري الماءُ داخلَ أنبوبٍ نصفُ قطرِهِ $0.30 \mathrm{~m}$ بمعدَّلِ تدفُّقٍ $0.20 \mathrm{~m^3/s}$ وبضغطٍ يساوي الضغطَ الجويّ. يميلُ الأنبوبُ نزولاً ليغذّيَ أنبوبًا آخر نصفُ قطرِهِ $0.15 \mathrm{~m}$ ويبعدُ عنه إلى أسفلَ مسافةَ $0.60 \mathrm{~m}$. ما ضغطُ الماءِ داخلَ الأنبوبِ الثاني؟

**44.** نابضٌ خفيفٌ ثابت مرونته $90.0 \mathrm{~N/m}$ يستقرُّ عموديًّا على طاولة، كما يظهرُ في **الشكل 3-24** (أ). يُعبَّأُ بالونٌ كتلتُهُ $2.00 \mathrm{~g}$ بغازِ الهيليوم ($0^{\circ}\mathrm{C}$ ، $1 \mathrm{~atm}$) ليصبحَ حجمُهُ $5.00 \mathrm{~m^3}$ ثم يُربَطُ بالنابضِ فيحدثُ فيه الاستطالة التي في **الشكل 3-24** (ب). كم يستطيلُ النابضُ لدى بلوغِهِ حالةَ الاتزان؟ (انظرِ **الجدول 3-1**. وتذكرْ أن $F = k\Delta x$).




**الشكل 3-24**

**45.** يبلغُ متوسطُ مساحةِ المقطعِ العرضيِّ للشريانِ الأبهرِ لليافعِ $2.0 \mathrm{~cm^2}$.

أ. احسبْ معدلَ تدفُّقِ الدم في الشريانِ ($\rho = 1.0 \mathrm{~g/cm^3}$) بوحدة $\mathrm{g/s}$ إذا كانت سرعتُهُ $42 \mathrm{~cm/s}$.

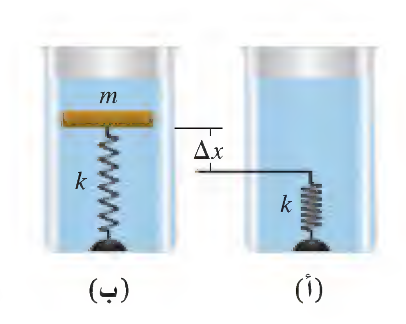
ب. افترضْ أن الشريانَ يتفرّعُ إلى أنابيبَ شعريةٍ مساحةُ مقاطعِها العرضيّةِ مجتمعةً $3.0 \times 10^3 \mathrm{~cm^2}$. فما سرعةُ الجريانِ في الأنابيبِ الشعرية؟

**46.** يبلغُ القطرُ الداخليُّ للشريانِ الأبهرِ $1.6 \mathrm{~cm}$ وللأنبوبِ الشعريِّ $1.0 \times 10^{-6} \mathrm{~m}$ تقريبًا. ومتوسطُ سرعةِ التدفُّقِ في الشريانِ حوالي $1.0 \mathrm{~m/s}$ و في الأنبوبِ $1.0 \mathrm{~cm/s}$. قدِّرْ عددَ الأنابيبِ الشعريةِ في نظامِ الدورةِ الدموية مفترضًا أن انسيابَ الدمِ داخل الأنابيبِ منتظمٌ ومتساوٍ.

**47.** يملأُ مزارعٌ خزانَ مياهٍ طولُهُ $1.5 \mathrm{~m}$ وعرضُهُ $65 \mathrm{~cm}$ وعمقُهُ $45 \mathrm{~cm}$، بخرطومٍ قطرُهُ $2.0 \mathrm{~cm}$. كم من الزمنِ يلزمُهُ لملءِ الخزانِ، إذا كانت سرعةُ تدفُّقِ الماءِ من الخرطومِ $1.5 \mathrm{~m/s}$؟

**48.** كرةٌ جوفاءُ كتلتُها $1.0 \mathrm{~kg}$ ونصفُ قطرِها $0.10 \mathrm{~m}$ عُبِّئَتْ بالهواء، ثم أُفلِتَتْ من السكونِ من قعرِ حوضِ ماءٍ عمقُهُ $2.0 \mathrm{~m}$. إلى أيِّ ارتفاعٍ فوق سطحِ الماءَ ترتفعُ الكرة؟ أهمِلِ الاحتكاكَ وحركةَ الكرةِ عندما تكونُ مغمورةً جزئيًّا في الماء.

**49.** قبّانٌ خفيفٌ ثابتُ مرونتِه $16.0 \mathrm{~N/m}$ يستقرُّ عموديًّا في قعرِ إناءٍ كبيرٍ من الماء، كما يظهرُ في **الشكل 3-25** (أ). يُربَطُ قالبٌ خشبيٌّ كتلتُهُ $5.00 \times 10^{-3} \mathrm{~kg}$ وكثافتُهُ $650.0 \mathrm{~kg/m^3}$ بأعلى القبّانِ، ثم يُفلَتُ جهازُ القالبِ - الزنبرك حتى يتوازن، كما يظهرُ في **الشكل 3-25** (ب). كم يستطيلُ النابض؟




**الشكل 3-25**

## تقويمُ الأداء

1. صَمِّمْ واصنعْ هيدرومترًا (لقياس كثافةِ الموائع) مستخدمًا أنبوبًا مختبريًّا طويلاً، وبعضَ الرمل في قعرِه، وسدادة. تَحَكَّمْ بكمّيةِ الرمل اللازمةِ ليطفوَ الأنبوبُ في معظمِ السوائلِ بشكلٍ عموديّ. عيِّرِ الأنبوبَ بسوائلَ معروفةِ الكثافةِ ثم ضعْ عليه ملصَقًا يحملُ علامات. قِسْ كثافةَ السوائلِ الغذائيةِ التالية: الحليبِ المقشود، الحليبِ الكامل (المشتملِ على جميعِ العناصرِ المقوِّمة)، الزيتِ النباتيِّ، شرابِ الفطائرِ المحلاةِ المركَّز، دبسِ السكّر. لخِّصْ نتائجَكَ في جدولٍ أو برسمٍ بيانيّ.

2. اشرحْ كيف تستطيعُ استعمالَ الفروقِ في الضغطِ لقياسِ التغيُّراتِ في الارتفاع، مفترضًا أن كثافةَ الهواءِ ثابتة. إلى أيِّ مدًى تصلُ دقةُ نتائجِ البارومترِ الذي صمَّمتَهُ ليكونَ الفرقُ 1 m بينها وبينَ الارتفاعاتِ الحقيقيةِ لبناءَين وجبلٍ على التوالي 55 m و 255 m و 2200 m؟

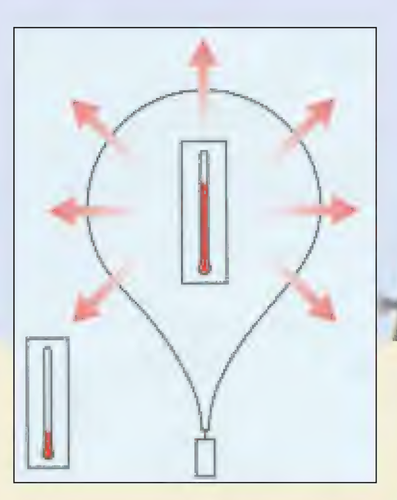
## تقويمُ الملفّ

3. سجِّلْ أمثلةً على مضخّاتٍ تُستعملُ في الأدوات. المحرِّكاتُ والأجهزةُ قد تستعملُها خلالَ أسبوع. صفْ باختصارٍ مظهرَ ووظيفةَ كلِّ مضخّة. نفِّذْ بحثًا حولَ كيفيّةِ عمل إحدى هذه المضخّاتِ مع مقارنتِها بمضخّةِ الماءِ في السيارة أو المضخةِ الهوائيةِ في الدراجة ناقشْ معلوماتِ بحثِكَ في اجتماعٍ مع مجموعةٍ من زملائِكَ، ثم ابتكرْ عرضًا نموذجيًّا أو رسمًا بيانيًّا يلخِّصُ معطياتِ المجموعة.



# الفصـــــل 4

# الحرارةُ
# *Heat*



يُستعمَلُ المنطادُ الظاهرُ في الصورةِ لإرسالِ أجهزةٍ علميَّةٍ، والقيامِ بتجاربَ في الفضاءِ. يُمكنُ اعتبارُ المنطادِ نموذجًا لنظامٍ ديناميكيٍّ حراريٍّ مبسَّطٍ. فمثلاً، يمكنُ لتغيُّرِ درجةِ الحرارةِ خارجَ المنطادِ أن يؤدّيَ إلى تبادُلٍ في الطاقةِ بينَ الغازِ الموجودِ داخلَ المنطادِ والهواءِ الخارجيِّ. يؤدّي تبادلُ الطاقةِ عن طريقِ الحرارةِ إلى تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليَّةِ للمنطادِ ومحتوياته.



## ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستتعلَّمُ في هذا الفصلِ التمييزَ بينَ درجةِ الحرارةِ وكمّيَّةِ الحرارةِ، وكيفَ أنَّ تبادُلَ الطاقةِ بينَ الموادِّ يؤدّي إلى تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ الموادِّ أو في حالتِها. كما ستتعلَّمُ أيضًا كيف يؤدّي تبادلَ الطاقةِ، عن طريقَيِ الشغلِ والحرارةِ، إلى تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليَّةِ لنظامٍ ما.

## محتوى الفصل 4




# درجةُ الحرارةِ والحرارة

## Temperature and Heat

### 4-1 مؤشّراتُ الأداء

- يصفُ التغيُّراتِ في درجةِ حرارةِ جسمَين في طريقِهما للوصولِ إلى الاتّزانِ الحراري.
- يشرحُ الحرارةَ على أنها الطاقةُ المتبادلةُ بين جسمَين عند درجتَيْ حرارةٍ مختلفتَين.
- يربطُ بين درجةِ الحرارةِ والحرارةِ على المستوى الظاهرِ للعين وبين حركةِ الجسيماتِ على المستوى المجهري.
- يطبّقُ مبدأَ حفظِ الطاقةِ لحسابِ التغيُّراتِ في كلٍّ من الطاقةِ الكامنة وطاقةِ الحركةِ والطاقةِ الداخليّة.

## تعريفُ درجةِ الحرارةِ والحرارة

تمَّ التمهيدُ لمفهومِ درجةِ الحرارةِ في الفصلِ السابقِ من خلالِ درجةِ حرارةِ الغازات. غالبًا ما نربطُ درجةَ الحرارةِ بمدى برودةِ أو سخونةِ جسمٍ عن طريقِ اللمس. وغالبًا ما يؤدّي إعطاءُ كمّيةِ حرارةٍ لجسمٍ أو سحبُها منه إلى تغييرِ درجةِ حرارةِ الجسم. ودرجةُ الحرارةِ تتناسبُ كذلك مع طاقةِ حركةِ الذرّاتِ والجزيئاتِ المكوِّنةِ للمادة.

لقياسِ درجةِ الحرارةِ نفترضُ أن قطعةً من الثلجِ وُضِعَتْ في كوبٍ من الماء. بعد عدةِ دقائقَ ينصهرُ الثلجُ فتنخفضُ درجةُ حرارةِ الماءِ في الكوبِ قليلاً. عندها نقولُ إن النظامَ المكوَّنَ من الثلجِ (سابقًا) ومن الماءِ هو في حالةِ **اتزانٍ حراريّ** thermal equilibruim، وعندها فقط يمكنُ أن نتحدّثَ عن درجةِ حرارةِ هذا النظام. لذلك كانت فكرةُ الاتّزانِ هي الأساسَ في قياسِ درجةِ الحرارة. فعندما تضعُ ميزانَ حرارةٍ (محرارًا) على تماسٍّ مع جسمٍ لقياسِ درجةِ حرارتِه، تنتظرُ قليلاً حتى يتحقَّقَ الاتّزانُ الحراريُّ بين المحرارِ والجسم. وعندَما يحصُلُ الاتّزانُ تصبحُ قراءةُ المحرارِ هي الدليلَ على درجةِ حرارةِ الجسم.

نذكِّرُ أيضًا أن هناك مقاييسَ مختلفةً لدرجةِ الحرارة، أهمُّها مقياسُ سلزيوس ومقياسُ فهرنهيت والمقياسُ المطلق (أو مقياس كلفن). وللتحويل من مقياسٍ إلى آخر نستعمل هاتينِ العلاقتين:

**التحويلُ من مقياسٍ إلى آخر**

$$T_K = T_C + 273.16 \qquad T_F = \frac{9}{5} T_C + 32.0$$

حيث $T_F$ تمثِّلُ درجةَ الحرارةِ بحسب مقياسِ فهرنهيت،
و $T_C$ تمثِّلُ درجةَ الحرارةِ بحسب المقياسِ المئوي (سلزيوس)،
و $T_K$ تمثِّلُ درجةَ الحرارةِ بحسب مقياسِ كلفن (المطلق)

**الاتِّزانُ الحراريّ**

الحالةُ التي يكونُ فيها للجسمينِ المتلاصقينِ فيزيائيًّا درجةُ الحرارةِ نفسُها.




**الشكل 4-1**

تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ من أجسامٍ درجةُ حرارتِها أعلى (كالشرابِ في العُلبة) إلى أجسامٍ درجةُ حرارتِها أدنى (كالماءِ البارد).

## الحرارةُ والطاقة

قد تبدو الفيزياءُ الحراريةُ غامضةً لدى دراستِها على المستوى المجهريّ، حيث تصبحُ الأجسامُ الحارَّةُ باردةً دون سببٍ واضح. من أجلِ فهمِ الفيزياءِ الحراريةِ يجبُ توجيهُ الاهتمامِ نحو سلوكِ الذرَّاتِ والجسيماتِ في المادة. يمكنُ استعمالُ الميكانيكا من أجلِ شرحِ ما يحصُلُ للجسيماتِ على المستوى المجهري، ما يؤدي إلى فهمِ ما نلاحظُهُ على المستوى العياني. يتوزّعُ الاهتمامُ خلالَ هذا الدرسِ على هذينِ المستويَين.

إذا سقطَتْ علبةُ مشروباتٍ غازيَّةٍ في ماءٍ بارد، كما في **الشكل 4-1**، فإن درجةَ حرارةِ العلبةِ وما بداخلِها تنخفضُ قليلاً فيما ترتفعُ درجةُ حرارةِ الماءِ إلى أن يصلا إلى اتّزانٍ حراري، ويحقّقا درجةَ حرارةٍ واحدة.

تنتقلُ الطاقةُ من علبةِ الشرابِ إلى الماءِ لأن الجسمَينِ على درجتَيْ حرارةٍ مختلفتَين. هذا النوعُ من الطاقةِ الذي ينتقلُ في مثلِ هذه الحالةِ يُسمّى **الحرارة** heat.

**الحرارة**

الطاقةُ المنتقلةُ بين الأجسامِ نتيجةً للاختلافِ في درجةِ حرارتِها.

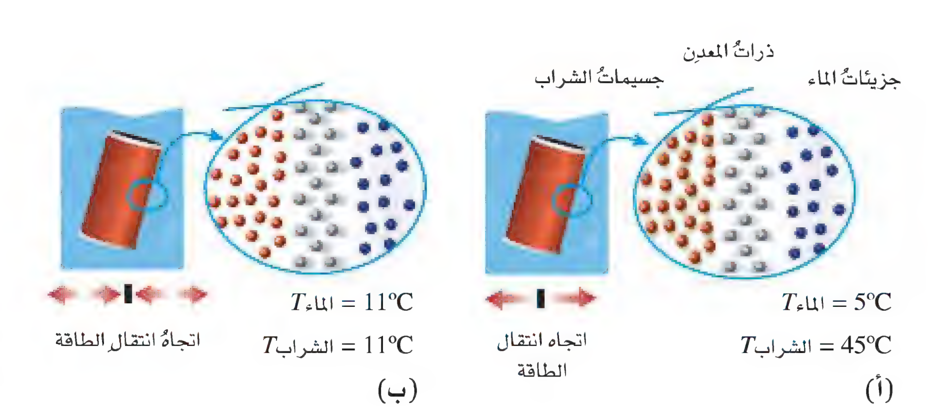
## انتقالُ الطاقةِ كحرارة

وفقَ وجهةِ النظرِ العيانيّةِ، تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ دائمًا من جسمٍ على درجةِ حرارةٍ أعلى إلى جسمٍ آخرَ على درجةِ حرارةٍ أدنى. يمكنُ تشبيهُ ذلك بالسلوكِ الميكانيكيِّ للأجسامِ التي تنتقلُ من طاقةٍ كامنةٍ أعلى إلى طاقةٍ كامنةٍ أقلّ، تمامًا كما لو أن القلمَ سقطَ من مقعدِكَ إلى الأرضِ ولم يقفزْ من الأرضِ إلى المقعد. إن الطاقةَ تنتقلُ تلقائيًّا من أجسامٍ هي على درجةِ حرارةٍ أعلى إلى أخرى هي على درجةِ حرارةٍ أقلّ، وليس العكس.

يمكنُ شرحُ الاتجاهِ الذي تنتقلُ فيه الطاقةُ كحرارةٍ على المستوى المجهري. بدايةً يكونُ متوسّطُ طاقةِ حركةِ الجسيماتِ في علبةِ الشراب أعلى من طاقةِ حركةِ جسيماتِ الماءِ المحيطِ بالعلبة، كما في **الشكل (4-2 أ)**.

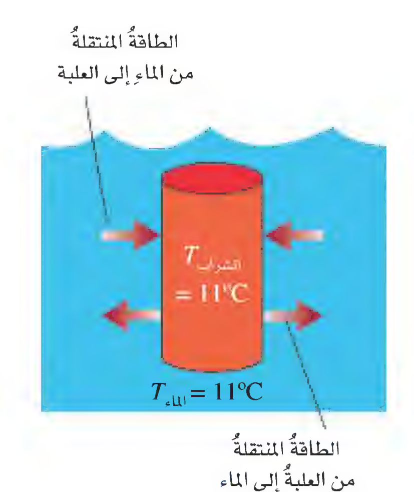
تنتقلُ هذه الطاقةُ من الشرابِ إلى العلبةِ بوساطةِ جزيئاتِ الشرابِ التي تصطدمُ بذرَّاتِ معدنِ العلبة. تتذبذبُ ذرَّاتُ المعدنِ بشكلٍ أسرعَ نتيجةً لارتفاعِ طاقتِها، فتنتقلُ هذه الطاقةُ إلى جزيئاتِ الماءِ المحيطة. **الشكل (4-2 ب)**.

ومع الازديادِ التدريجيِّ لطاقةِ جزيئاتِ الماءِ، تنخفضُ طاقةُ جزيئاتِ الشرابِ والعلبةِ تدريجيًّا أيضًا إلى أن يصبحَ متوسِّطُ طاقةِ حركةِ جميعِ الجزيئاتِ متساويًا. ويمكنُ أيضًا لجزءٍ من الطاقةِ أن ينتقلَ بوساطةِ التصادماتِ من جزيئاتِ الماءِ الأقلِّ طاقةً إلى جزيئاتِ الشرابِ والعلبةِ ذاتِ الطاقةِ الأعلى.




**الشكل 4-2**
تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ من الجسيماتِ ذاتِ الطاقةِ الأعلى إلى الجسيماتِ ذاتِ الطاقةِ الأقلّ.

إذن يمكنُ للطاقةِ أن تنتقلَ في الاتجاهَين. وبما أن متوسّطَ طاقةِ حركةِ الجزيئاتِ يكونُ أعلى في الأجسامِ ذاتِ درجةِ الحرارةِ الأعلى فإن الطاقةَ التي تنتقلُ منها كحرارةٍ تكونُ أكثرَ من الطاقةِ التي تنتقلُ إليها. وتكونُ المحصِّلةُ أن الطاقةَ تنتقلُ كحرارةٍ في اتجاهٍ واحدٍ فقط.




**الشكل 4-3**
في حالةِ الاتزانِ الحراريِّ تكونُ محصِّلةُ الطاقةِ المتبادلةِ بين جسمينِ صفرًا.

## انتقالُ الحرارةِ وتغيُّرُ درجةِ الحرارة

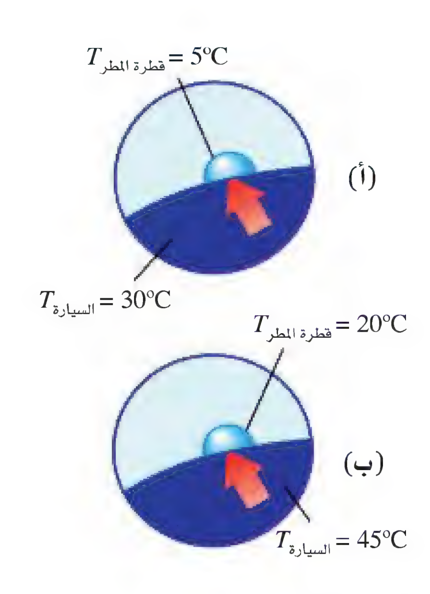
يمكنُ فهمُ الاتّزانِ الحراريِّ بدلالةِ تبادلِ الطاقةِ بين جسمَينِ على درجةِ الحرارةِ نفسِها. عندما تكونُ علبةُ العصيرِ والماءُ الملامسُ لها على درجةِ الحرارةِ نفسِها، كما في **الشكل 4-3**، تكونُ كميةُ الطاقةِ المنتقلةُ من العلبةِ إلى الماءِ مساويةً لكميةِ الطاقةِ المنتقلةِ من الماءِ إلى العلبة. وعليه تكونُ محصِّلةُ الطاقةِ المتبادلةُ بين الجسمَينِ صفرًا.

يتَّضحُ مما سبقَ الفرقُ بين درجةِ الحرارةِ والحرارة. إن ذرَّاتِ الأجسامِ تكونُ في حركةٍ متواصلة، وهذه الحركةُ تعطي جميعَ هذه الأجسامِ **طاقةً داخليةً** internal energy. إن درجةَ الحرارةِ هي مقياسٌ لهذه الطاقة، لذلك يكونُ لكلِّ جسمٍ درجةُ حرارةٍ معيَّنة. أما الحرارةُ فهي الطاقةُ المتبادلةُ بين جسمٍ وآخرَ نتيجةً لاختلافِ درجتَي حرارتِهما. عندما لا يكونُ هناك فرقٌ بين درجةِ حرارةِ جسمٍ ومحيطِه، لا يكونُ هناك طاقةٌ متبادلةٌ على شكلِ حرارة.

**الطاقةُ الداخلية**

طاقةُ المادةِ الناتجةُ من الحركةِ العشوائيةِ لجزيئاتِها، وهي تساوي مجموعَ طاقةِ هذه الجزيئات.

إن الطاقةَ المتبادلةَ كحرارةٍ تعتمدُ على الفرقِ في درجاتِ الحرارةِ بين الأجسام، لذلك كلما ازدادَ هذا الفرقُ ازدادتِ الطاقةُ المتبادلةُ على شكلِ حرارة. فمثلاً، في فصلِ الشتاءِ تنتقلُ الطاقةُ كحرارةٍ من سطحِ سيارةٍ درجةُ حرارتِهِ 30°C إلى قَطرةِ مطرٍ باردةٍ درجةُ حرارتِها 5°C. أما في فصلِ الصيفِ فإن الطاقةَ تنتقلُ كحرارةٍ من سطحِ السيارةِ الذي حرارتُهُ 45°C إلى قطرةٍ من المطرِ دافئة (في حالِ سقوطِ المطر) درجةُ حرارتِها 20°C. وبما أن الفرقَ بين درجتَيِ الحرارةِ هو نفسُهُ في كلتا الحالتَين (أي 25°C) فمن المتوقعِ أن تكونَ الطاقةُ المتبادلةُ هي نفسَها، (**الشكل 4-4**).




**الشكل 4-4**
الطاقةُ المتبادلةُ كحرارةٍ بين سطحِ السيارةِ وقطرةِ المطرِ هي نفسُها تقريبًا عند درجاتِ الحرارةِ المنخفضةِ (أ) ودرجاتِ الحرارةِ المرتفعةِ (ب)، شرطَ أن يكونَ الفرقُ بين درجتَيِ الحرارةِ هو نفسَه.

يساعدُ كلٌّ من مفهومِ الحرارةِ ومفهومِ درجةِ الحرارةِ في شرحِ سببِ الاختلافِ في إحساسِ اليدَينِ الموضوعتَينِ في وعاءَينِ منفصلَين، في الأوّلِ ماءٌ باردٌ وفي الثاني ماءٌ ساخنٌ لدى انتقالِهما معًا إلى وعاءٍ واحدٍ فيه ماءٌ فاتر. تحسُّ أعصابُ الطبقةِ العليا من جلدِ يدِكَ بالطاقةِ المتبادلةِ عبرَ جلدِك ما بين جسمِك والأجسامِ التي لها درجةُ حرارةٍ مختلفةٌ عن درجةِ حرارةِ جسمِك. إذا كانَت إحدى اليدَينِ في حالةِ اتّزانٍ حراريٍّ مع ماءٍ باردٍ، تنتقلُ من الطبقةِ الخارجيةِ لجلدِ اليد طاقةٌ أكثرُ من الطاقةِ التي يمكنُ أن يعوِّضَها الدمُ الذي درجةُ حرارتِهِ 37.0°C. عند انتقالِ اليدِ فجأةً إلى الماءِ الفاتر، ودرجةُ حرارتِهِ أعلى من البارد، تنتقلُ الحرارةُ منه إلى اليدِ الباردةِ بالنسبةِ للماءِ الفاتر. كذلك فإن اليدَ الأخرى، التي كانت في الماءِ الساخنِ واكتسبتِ الحرارةَ منه، تنقلُ هذه الحرارةَ إلى الماءِ الفاترِ (الأبردِ نسبيًّا) لدى انتقالِها إليه.

## وحدةُ قياسِ الحرارة

قبلَ أن يتوصَّل العلماءُ إلى النموذجِ الحاليِّ للحرارة، كانوا قد طوَّروا وحداتِ قياسٍ مختلفةً لها. وهذه الوحداتُ ما تزالُ تُستعملُ على نطاقٍ واسع، كما في **الجدول 4-1**. ولأن الحرارةَ، كالشغلِ، مظهرٌ من مظاهرِ الطاقةِ المتبادلة، أمكننا تحويلُ وحداتِ الحرارة

**الجدول 1-4 الوحداتُ الحراريةُ بالجول**

| وحدة الحرارة | القيمة المكافئة | الاستعمالات |
|---|---|---|
| جول (J) | $1\ kg \cdot \left(\frac{m^2}{s^2}\right)$ | وحدةُ الطاقةِ في نظام SI |
| كالوري (cal) | 4.186 J | وحدةُ حرارةٍ في غيرِ نظام SI، استعملَتْ من قِبَلِ الفيزيائيينَ والكيميائيينَ القدامى |
| كيلو كالوري (kcal) | $4.186 \times 10^3$ J | وحدةُ قياسِ حرارةٍ في غير نظام SI |
| سعرةٌ حراريةٌ غذائية | $4.186 \times 10^3$ J = 1 kcal | علمُ التغذية |
| وحدةُ حرارةٍ بريطانية (Btu) | $1.055 \times 10^8$ J | وحدةُ حرارةٍ بريطانيةٌ تستعملُ في مجالاتِ الهندسةِ والتبريدِ والتكييف |

إلى جول، وهي وحدةُ قياسِ الطاقةِ في نظام SI.

وكما أن لكلِّ أشكالِ الطاقةِ الأخرى رموزًا تميِّزُها، مثل $PE$ للطاقةِ الكامنةِ و$KE$ لطاقةِ الحركة و $U$ للطاقة الداخلية و $W$ للشغل، فإننا نميِّزُ الحرارةَ بالرمزِ $Q$.

# الحرارةُ والشغل

استعملْ مطرقةً لغرزِ مسمارٍ في قالبٍ من الخشب. بعدَ عدّةِ دقائقَ، اسحبِ المسمارَ من القالبِ والْمُسْ حافتَهُ تجدْهُ ساخنًا. يدلُّ ذلك على انتقالِ الحرارةِ من المسمارِ إلى يدِك. هناك شغلٌ بُذِلَ لسحبِ المسمارِ من القالب. يتعرَّضُ المسمارُ لاحتكاكٍ بالخشب، ومعظمُ الطاقةِ المطلوبةِ للتغلُّبِ على هذا الاحتكاكِ تتحوَّلُ إلى طاقةٍ داخلية. يؤدي ارتفاعُ الطاقةِ الداخليةِ للمسمارِ إلى ارتفاعِ درجةِ حرارتِه، كما يؤدي الفرقُ بين درجتَيْ حرارةِ المسمارِ ويدِكَ إلى انتقالِ الطاقةِ من المسمارِ إلى يدِكَ على شكلِ حرارة.

الاحتكاكُ هو إحدى الطرقِ التي تزدادُ بها الطاقةُ الداخليةُ للجسم. في حالةِ الأجسامِ الصلبةِ، يمكنُ زيادةُ الطاقةِ الداخليةِ بتغييرِ شكلِ الجسمِ، كما يحصلُ باستطالةِ شريطٍ مطاطيٍّ أو بطيِّ قطعةٍ معدنية.

**نشاط عملي سريع**

**الشغلُ والحرارة**

**المواد**

- ✓ شريطٌ مطّاطيٌّ طويلٌ يتراوحُ عرضُهُ بينَ 7 mm و 10 mm.

**إرشاداتُ السلامة**

من أجلِ تفادي قطعِ الشريطِ المطاطيِّ، يجبُ أنْ لا تتعدى الاستطالةُ بضعةَ سنتيمترات. لا توجهِ الشريطَ المطاطيَّ المُستطالَ في اتّجاهِ الأشخاص.

أمسكْ طرفَيِ الشريطِ المطاطيِّ بين إبهامَيْ يديك. تحسَّسْ درجةَ حرارةِ المنطقةِ الوسطى منه بشفتيك. شُدَّ طرفَيِ الشريطِ بسرعةٍ واحفظْهُ في شكلِ مستطال. المُسِ المنطقةَ الوسطى من الشريطِ بشفتيكَ مرةً ثانية. لاحظْ ما إذا كانت درجةُ الحرارةِ قد تغيَّرت. قد يلزمُكَ أن تشدَّ الشريطَ عدَّةَ مراتٍ قبل أن تلاحظَ تغيُّرًا ملموسًا في درجةِ الحرارة.

## حفظُ الطاقةِ الكلّية

عندَ مناقشةِ مبدأ الطاقةِ الميكانيكيةِ، نلاحظُ أنَّه عند حدوثِ احتكاكٍ بين أجسامٍ لا يتحوَّلُ كلُّ الشغلِ إلى طاقةٍ ميكانيكية. والطاقةُ الحركيةُ لا تبقى حركيةً بصورةٍ كاملةٍ أثناء التصادماتِ اللامرنة. بعضُ هذه الطاقةِ يتمُّ امتصاصُهُ كطاقةٍ داخليةٍ للأجسام، لذلك يَسخُنُ المسمارُ وثقبُ القالبِ الخشبيِّ بعضَ الشيءِ عند سحبِ المسمارِ منه. إذا تمَّ الأخذُ بعينِ الاعتبارِ التغيُّراتُ في الطاقةِ الداخليةِ مع التغيُّراتِ في الطاقةِ الميكانيكية، تكونُ الطاقةُ بشكلٍ عامٍّ كمّيةً محفوظة.

**حفظُ الطاقة**

$$\Delta PE + \Delta KE + \Delta U = 0$$

**التغيُّر في الطاقة الكامنة + التغيُّر في طاقة الحركة + التغيُّر في الطاقة الداخلية = صفرًا**

## مثال 4 (أ)

### حفظُ الطاقة

**المسألة**



**يوضّحُ الشكلُ المجاورُ تجربةً مشابهةً لتلك التي استُعملَتْ لتوضيحِ حفظِ الطاقة. تُحرِّكُ بدّالاتٌ في ماءٍ يملأُ الوعاءَ بوساطةِ أجسامٍ ساقطة. يؤدّي ذلك إلى تسخينِ الماءِ ورفعِ طاقتِهِ الداخلية. ترتفعُ إثرَ ذلك درجةُ حرارةِ الماءِ كدلالةٍ على ارتفاعِ طاقتِهِ الداخلية. إذا سقطتِ الكتلةُ الخارجيةُ البالغةُ 11.5 kg مسافةَ 1.3 m وتحوَّلتْ كلُّ الطاقةِ الميكانيكيةِ إلى طاقةٍ داخلية، فكم يكونُ ارتفاعُ الطاقةِ الداخليةِ للماء؟ (افترضْ أن لا تسرُّبَ للطاقةِ من الوعاءِ إلى الخارجِ أو بالعكس).**

**الحلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $m = 11.5$ kg  $h = 1.3$ m  $g = 9.81$ m/s$^2$

**المجهول:** $\Delta PE = ?$  $\Delta KE = ?$  $\Delta U = ?$

**2. أخطِّط**

**أختارُ معادلةً (أو معادلات) أو موقفًا:** يمكنُ صياغةُ معادلةِ حفظِ الطاقةِ بمساواةِ الطاقةِ الابتدائيةِ الكلّيةِ بالطاقةِ النهائيةِ الكلّية. بما أنه ليس للجهازِ ككلٍّ طاقةُ حركةٍ عند بدءِ سقوطِ الجسمِ أو عند توقُّفِهِ تكونُ كلٌّ من $KE_i$ و $KE_f$ صفرًا. وبما أن كلَّ الطاقةِ الكامنةِ قد تحوَّلَتْ إلى طاقةٍ داخليةٍ، تكونُ $PE_i$ مساويةً لـ $mgh$ إذا كانت $PE_f$ صفرًا.

$$\Delta PE + \Delta KE + \Delta U = 0$$
$$PE_i + KE_i + U_i = PE_f + KE_f + U_f$$
$$PE_i = mgh$$
$$PE_f = 0$$
$$KE_i = 0$$
$$KE_f = 0$$
$$mgh + 0 + U_i = 0 + 0 + U_f$$
$$\Delta U = U_f - U_i = mgh$$

**فكرة مفيدة**

أيُّ تغيُّرٍ في المقدارِ استُعملَ له الرمزُ $\Delta$ الذي يعني أنّ القيمةَ البدائيَّةَ تطرحُ من القيمةِ النهائيَّة.

مثلاً: $\Delta U = U_f - U_i$

**3. أحسب**

**أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحلّ:**

$$\Delta U = (11.5 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)(1.3 \text{ m})$$
$$= 146.6595 \text{ J}$$

$$\boxed{\Delta U = 147 \text{ J}}$$

**جوابُ الآلةِ الحاسبة**

بما أن أقلَّ عددٍ للأرقامِ المعنويةِ في البياناتِ المعطاةِ هو اثنان، يلزمُ أن يُقرَّبَ جوابُ الآلةِ الحاسبةِ وهو 146.6595 J إلى رقمَين معنويَّين فقط، أي 147 J.

**4. أقيِّم**

يمكنُ تقديرُ الجوابِ باستعمالِ القيمِ المقرّبةِ لـ $m$ و $g$.

حيث $m \approx 10$ kg و $g \approx 10$ m/s$^2$ تكونُ $\Delta U \approx 130$ J،

وهي قريبةٌ من القيمةِ الحقيقيةِ المحسوبةِ 147 J.

## تطبيق 4 (أ)

**حفظُ الطاقة**

1. في الشكلِ الموضّحِ في المثال 4(أ)، كم ترتفعُ طاقةُ الماءِ الداخليةُ إذا سقطتِ الكتلةُ الخارجيةُ مسافةَ 6.69 m؟

2. يدفعُ أحدُ العمَّالِ مسمارًا كتلتُهُ 0.500 kg في وتدٍ خشبيٍّ بوساطةِ مطرقةٍ كتلتُها 2.50 kg. تطرُقُ المطرقةُ المسمار بسرعةِ 65.0 m/s. إذا تحوَّلَ ثلثُ طاقةِ حركةِ المطرقةِ إلى طاقةٍ داخليةٍ للمطرقةِ والمسمار، كم يكونُ الارتفاعُ في تلك الطاقةِ الداخلية؟

3. تسقطُ قطعةُ نقودٍ نحاسيةٌ كتلتُها $3.0 \times 10^{-3}$ kg من ارتفاعِ 50.0 m فوق الأرض. إذا تحوَّلَ 65 % من الطاقةِ الكامنةِ الابتدائيةِ إلى ارتفاعٍ في الطاقةِ الداخليةِ للقطعةِ النقدية، فما مقدارُ ذلك الارتفاع؟

4. من أجلِ رفعِ درجةِ حرارةِ 0.25 kg من الماءِ بمقدارِ 0.2°C نحتاجُ إلى طاقةٍ داخليةٍ مقدارُها 209.3 J. بأيِّ سرعةٍ يجبُ أن تُقذَفَ كرةٌ كتلتُها 0.25 kg بحيث تتساوى طاقةُ حركتِها والطاقةُ الداخليةُ المطلوبة؟

## مراجعةُ القسم 1-4

1. وُضِعَ إناءُ ماءٍ بدرجةِ حرارةِ الغرفةِ في ثلاجةٍ لفترةٍ زمنيةٍ قصيرة، ونُقِلَ إناءٌ آخرُ مُماثلٌ له من تحتِ أشعةِ الشمسِ ووضِعَ في الثلاجة للفترةِ الزمنيةِ نفسِها. ماذا يجبُ أن تعرفَ لكي تحدِّدَ الحالةَ التي تمَّ فيها تبادلُ كمّيةٍ أكبرَ من الطاقة؟

2. استعملِ التفسيرَ المجهريَّ لدرجةِ الحرارةِ والحرارةِ لشرحِ تسخينِ يدَيك بالنفخِ فيهما، وتبريدِ الحساءِ الحارِّ بالنفخِ فيه كذلك.

3. إذا تمَّ تحريكُ إناءٍ من الماءِ بشكلٍ قويّ، فهل تتغيَّرُ طاقةُ الماءِ الداخلية؟ لماذا؟

القسم 2-4

# التغيُّر في درجةِ الحرارةِ والحالة

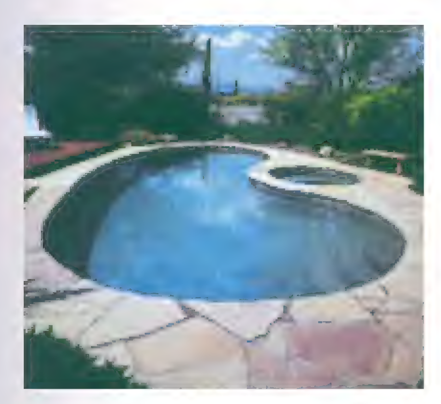
*Changes in Temperature and Phase*

**2-4 مؤشّراتُ الأداء**

- يقومُ بحساباتٍ حولَ السعةِ الحراريةِ النوعية.
- يقومُ بحساباتٍ حولَ الحرارةِ الكامنة.
- يفسِّرُ المناطقَ المختلفةَ لمنحنى حراريّ.

## السعةُ الحراريةُ النوعية

ربَّما لاحظْتَ في أحدِ الأيامِ الحارَّةِ أن الهواءَ حولَ بركةِ سباحةٍ، كما في **الشكل 4-5**، يكونُ حارًّا بينما تكونُ مياهُ البركةِ باردة. قد يبدو ذلك غيرَ مفهوم، إذ إن كلاًّ من الهواءِ والماءِ يأخذُ الطاقةَ من ضوءِ الشمس. وقد تكونُ برودةُ الماءِ بالنسبةِ للهواءِ ناتجةً جزئيًّا من تبخُّرِ الماء، وهي عمليةُ تبريد. لكن توجدُ خاصةٌ أخرى لجميعِ الموادِّ تؤدي إلى اختلافٍ في درجاتِ حرارتِها عندما تأخذُ أو تعطي كمّياتٍ متساويةً منَ الطاقة.



**الشكل 4-5**
يمتصُّ الهواءُ المحيطُ بالبركةِ، وكذلك مياهُها، الطاقةَ من ضوءِ الشمس. إلا أنَّ الارتفاعَ في درجةِ حرارةِ الهواءِ أكبرُ من الارتفاعِ في درجةِ حرارةِ الماء.

يمكنُ شرحُ هذه الخاصةِ بدلالةِ حركةِ ذرَّاتِ المادةِ وجزيئاتِها، وهي تؤثِّرُ في مقدارِ تغيُّرِ درجةِ حرارةِ المادةِ عندما تأخذُ أو تعطي كميةً محدَّدةً من الطاقة. لكلِّ مادةٍ كمّيةٌ محدَّدةٌ من الطاقةِ لازمةٌ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1 kg منها بمقدارِ 1°C. هذه القيمةُ التي تُسمَّى **السَّعةَ الحراريةَ النوعية** specific heat capacity (أو الحرارةَ النوعية) تربطُ بين كتلةِ المادةِ والتغيُّرِ في درجةِ حرارتِها وكمّيةِ الطاقةِ المتبادلةِ على شكلِ حرارة، وذلك على النحوِ التالي:

**السعةُ الحراريةُ النوعية**

$$\text{السعةُ الحراريةُ النوعية} = \frac{\text{الطاقة المتبادلة كحرارة}}{\text{الكتلة} \times \text{التغيُّر في درجة الحرارة}}$$

$$c_p = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$\therefore\ Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

يدلُّ الحرفُ $p$ على أنَّ السعةَ الحراريةَ النوعيةَ مقيسةٌ عندَ ضغطٍ ثابت. ويعتبرُ تثبيتُ الضغطِ شرطًا مهمًّا في تحديدِ بعضِ الخصائصِ الحراريةِ للموادِّ الغازيَّةِ التي تتأثَّرُ بتغيُّرِ الضغطِ أكثرَ من الموادِّ الصلبةِ أو السائلة. لاحظْ أنَّ تغيُّرَ 1°C في درجةِ الحرارةِ يساوي في المقدارِ 1K، وعليهِ تكونُ تغيُّراتُ درجاتِ الحرارةِ $\Delta T$ متساويةً في المقياسَين.

تطبَّقُ معادلةُ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ على الأجسامِ التي تمتصُّ الحرارةَ من الوسطِ المحيطِ بها، وعلى الأجسامِ التي تعطي الحرارةَ للوسطِ المحيط. نعتبرُ إشارةَ كلٍّ من $\Delta T$ و $Q$ موجبةً عندَ ارتفاعِ درجةِ حرارةِ الجسمِ الذي يمثِّل انتقالَ الحرارةِ إليه. كذلك، كلٌّ من $\Delta T$ و $Q$ تكون سالبةً عند انخفاضِ درجةِ حرارةِ الجسمِ وانتقالِ الحرارةِ منه إلى وسطِهِ المحيط.

**السعةُ الحراريةُ النوعية**

كمّيةُ الطاقةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1 kg من المادةِ بمقدارِ 1°C عند ضغطٍ ثابت.

يعطي **الجدولُ 2-4** السعاتِ الحرارية النوعية لبعضِ المواد.

**الجدول 2-4 السعةُ الحراريةُ النوعية**

| المادة | $c_p$(J/kg•°C) | المادة | $c_p$(J/kg•°C) |
|---|---|---|---|
| الألمنيوم | $8.99 \times 10^2$ | الرصاص | $1.28 \times 10^2$ |
| النحاس | $3.87 \times 10^2$ | الزئبق | $1.38 \times 10^2$ |
| الزجاج | $8.37 \times 10^2$ | الفضَّة | $2.34 \times 10^2$ |
| الذهب | $1.29 \times 10^2$ | البخار | $2.01 \times 10^3$ |
| الثلج | $2.09 \times 10^3$ | الماء | $4.186 \times 10^3$ |
| الحديد | $4.48 \times 10^2$ | | |

## حسابُ السعةِ الحراريةِ النوعية

لقياسِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ لمادةٍ معيَّنة، يلزمُنا قياسُ الكتلةِ والتغيُّرِ في درجةِ الحرارةِ والطاقةِ المتبادلةِ كحرارة. يمكنُ قياسُ الكتلةِ والتغيُّرِ في درجةِ الحرارةِ بطريقةٍ مباشرة، إلا أن قياسَ كمّيةِ الحرارةِ ليسَ سهلاً. بما أن السعةَ الحراريةَ للمـاءِ معروفةٌ بشكلٍ دقيق (4.186 kJ/kg•°C) فيمكنُ قياسُ الطاقةِ المتبادلةِ كحرارةٍ بين جسمٍ مجهولِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ وبينَ كمّيةٍ معينةٍ من الماء.

إذا وُضِعَ جسمٌ ساخنٌ في وعاءٍ معزولٍ حراريًّا، وفيهِ ماءٌ بارد، فإنَّ حفظَ الطاقةِ يتطلَّبُ أن تكونَ الطاقةُ التي يفقدُها الجسمُ الساخنُ مساويةً للطاقةِ التي يكتسبُها الماء. وعلى الرغمِ من أنَّ بعضَ هذه الطاقةِ يتسرّبُ إلى الوعاءِ المحيطِ بالماء، فإن هذه الكمّيةَ تكونُ قليلةً، وسيتمُّ إهمالُها. يمكنُ استعمالُ مبدأ حفظِ الطاقةِ من أجلِ حسابِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ $c_{p,x}$ للمادةِ (ويرمزُ إليها بالبادئةِ $x$).

الطاقةُ الحراريَّة المكتسبةُ بوساطةِ الماء = الطاقة الحرارية المفقودة بوساطةِ المادة

$$Q_x = Q_w$$

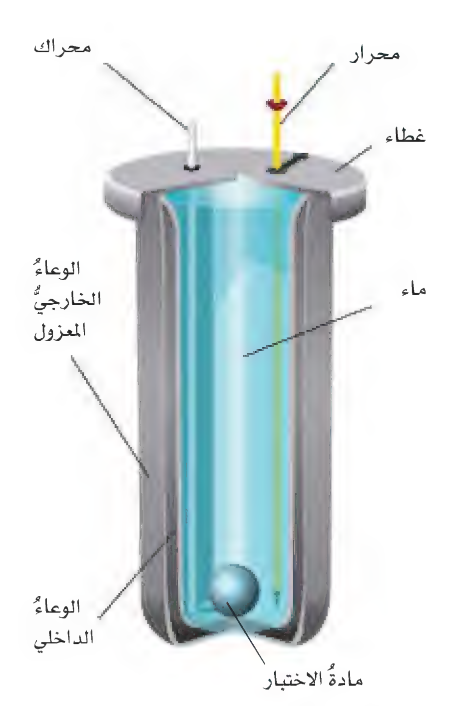
$$c_{p,x}m_x\Delta T_x = c_{p,w}m_w\Delta T_w$$

نعتبرُ كمّيةَ الحرارةِ التي يكتسبُها جسمٌ معيّنٌ كمّيةً موجبة، ونعتبرُ كمّيةَ الحرارةِ التي يعطيها جسمٌ لآخرَ كمّيةً سالبة. يمكنُ إغفالُ الإشارةِ السالبةِ للحرارةِ المعطاةِ إذا كتبنا كلاً من $\Delta T_w$ و $\Delta T_x$ كفرقٍ بين درجةِ الحرارةِ الأعلى ودرجةِ الحرارةِ الأقلِ لكلٍّ منهما. لذلك يجبُ أن تكونَ $\Delta T$ موجبةً دائمًا عند استعمالِ المعادلةِ السابقة.

هذه الطريقةُ في تحديدِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ للمادةِ تُسمَّى **قياسَ كمّيّةِ الحرارة**، (calorimetry) كما تسمَّى الأجهزةُ المستعملةُ في هذه القياساتِ *المسعِّرات*. يحتوي المسعِّرُ على محرارٍ لقياسِ الدرجةِ النهائيةِ للحرارة، حيثُ تصلُ الأجسامُ إلى اتزانٍ حراري، كما يحتوي على محرّكٍ للتأكّد من توزيعِ الطاقةِ بشكلٍ منتظمٍ في جميعِ نواحي الماء (انظر **الشكل 6-4**).

**قياسُ الحرارة**

طريقةٌ مختبريةٌ تُستعملُ لقياسِ الطاقةِ المتبادلةِ بين جسمٍ وآخرَ على شكلِ حرارة.




**الشكل 6-4**
مسعِّرٌ حراريٌّ بسيطٌ لقياسِ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ للمادّة.

## مثال 4 (ب)

**قياسُ الحرارة**

### المسألة

**سُخّنت صامولةُ (برغي) من الألمينيوم كتلتُها 0.050 kg إلى درجةِ حرارةٍ ابتدائيةٍ غيرِ معروفة، ثم أُلقيَتْ في وعاءٍ يحتوي على 0.15 kg من الماءِ بدرجةِ حرارةٍ ابتدائيةٍ 21.0°C. وصلَتْ درجةُ الحرارةِ النهائيةُ للصامولةِ (البرغي) والماءِ إلى 25.0°C. إذا كانتِ السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للألمينيوم 899 J/kg•°C، فما درجةُ الحرارةِ الابتدائيةُ لقطعةِ الألمينيوم؟ (مع إهمالِ الحرارةِ التي يكتسبُها المسعّرَ أو الوعاء).**

### الحــلّ

**1. أعرِّف**

**المعطى:**

$m_{\text{الألمينيوم}} = m_m = 0.050\ \text{kg}$ $\quad c_{p,m} = 899\ \text{J/kg•°C}$

$m_{\text{الماء}} = m_w = 0.15\ \text{kg}$ $\quad c_{p,w} = 4186\ \text{J/kg•°C}$

$T_{\text{الماء}} = T_w = 21.0°\text{C}$ $\quad T_{\text{النهائية}} = T_f = 25.0°\text{C}$

**المجهول:** $T_{\text{المعدن}} = T_m = ?$

**الشكل:**

قبلَ وضعِ العيّنةِ الساخنةِ في المسعّر — بعدَ الوصولِ إلى الاتّزانِ الحراري





$m_m = 0.050\ \text{kg}$ $\quad m_w = 0.15\ \text{kg}$ $\quad T_w = 21.0°\text{C}$ $\quad T_f = 25.0°\text{C}$

**2. أخطِّط**

**أختارُ معادلةً (أو معادلات) أو موقفًا:** أجعلُ الطاقةَ المفقودةَ من الصامولةِ مساويةً للطاقةِ المكتسبةِ بوساطةِ الماء.

الطاقةُ الحراريةُ المفقودةُ من صامولةِ الألمنيوم = الطاقة الحراريّةَ المكتسبةَ بوساطةِ الماء

$$c_{p,m} m_m \Delta T_m = c_{p,w} m_w \Delta T_w$$

**أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهول:**

$$\Delta T_m = \frac{m_w c_{p,w} \Delta T_w}{m_m c_{p,m}}$$

**3. أحسب**

**أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحسب:**

لاحظتُ أن $\Delta T_w$ يجبُ أن تكونَ موجبة.

$$\Delta T_w = T_f - T_w = 25.0°\text{C} - 21.0°\text{C} = 4.0°\text{C}$$

$$\Delta T_m = \frac{(0.15\ \text{kg})\left(\frac{4186\ \text{J}}{\text{kg•°C}}\right)(4.0°\text{C})}{(0.050\ \text{kg})\left(\frac{899\ \text{J}}{\text{kg•°C}}\right)}$$

$$\Delta T_m = 56°C$$

$$T_m = T_f + \Delta T_m$$

$$T_m = 25°C + 56°C = 81°C$$

$$\boxed{T_m = 81°C}$$

**فكرة مفيدة**

$T_w < T_f$ ∵ تعرف أنَّ $T_m$ يجبُ أن يكونَ أكبر من $T_f$.

## تطبيق 4 (ب)

### قياسُ الحرارة

**1.** ما درجةُ الحرارةِ النهائيةُ عندما نضعُ قالبًا من الذهبِ كتلتُهُ 3.0 kg ودرجةُ حرارتِه 99°C في 0.22 kg من الماءِ عندَ درجةِ حرارة 25°C؟

**2.** أُلقِيتْ قطعةٌ من القصديرِ كتلتُها 0.225 kg وحرارتُها الابتدائيةُ 97.5°C في 0.115 kg من الماء عند درجةِ حرارة 10.0°C. إذا كانَتِ السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للقصدير 230 J/kg•°C، فما درجةُ الحرارةِ النهائيةُ للخليطِ المكوَّنِ من القصديرِ والماء؟

**3.** ما درجةُ الحرارةِ النهائيةُ التي تحصلُ عليها بإضافةِ 0.032 kg من الحليبِ عند درجةِ حرارة 11°C إلى 0.16 kg من القهوةِ عند 91°C؟ افترضْ أن السعةَ الحراريةَ النوعيةَ لكلٍّ من السائلَيْنِ تساوي السعةَ الحراريةَ النوعيَّةَ للماء، مع إهمالِ أيِّ انتقالٍ حراريٍّ من السائلَينِ إلى الوسطِ المحيطِ بهما.

**4.** تمَّ صنعُ إناءٍ من مادةٍ مختبريةٍ تتحمَّلُ السوائلَ الساخنةَ. وُضعَ الإناءُ، وكتلتُه 0.75 kg ودرجةُ حرارتِه الابتدائيةُ 36.5°C في 1.25 kg من الماءِ عند 20.0°C. ما السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للإناءِ إذا كانَت درجةُ الحرارةِ النهائيةُ 24.4°C؟

**5.** النحاسُ الأصفرُ مسبوكٌ من النحاسِ والزنك (الخارصين). وُضعت عيِّنةٌ من النحاسِ الأصفرِ كتلتُها 0.59 kg ودرجةُ حرارتِها 98.0°C في 2.80 kg من الماءِ درجةُ حرارتِها 5.0°C. إذا كانَتْ درجةُ حرارةِ الاتّزانِ الحراريِّ 6.8°C، فما السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للنحاسِ الأصفر؟

**6.** تتأثرُ درجةُ حرارةِ الهواءِ فوقَ المناطقِ الساحليةِ بالسعةِ الحراريةِ النوعيةِ الكبيرةِ للماء. كم يكونُ حجمُ الهواءِ الذي تنخفضُ درجةُ حرارتِه بمقدارِ 1.0°C إذا انتقلَتِ الطاقةُ الحراريَّةُ من الهواءِ إلى الماءِ كحرارة، وأدّتْ إلى رفعِ درجةِ حرارةِ 1.0 kg من الماءِ بمقدارِ 1.0°C؟ السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للهواءِ 1000.0 J/kg•°C تقريبًا، وكثافةُ الهواءِ $1.29\ kg/m^3$ تقريبًا.

**7.** وُضعَتْ قطعةُ نقدٍ نحاسيةٌ ساخنةٌ في 101 g من الماءِ البارد. تتغيَّرُ درجةُ حرارةِ الماءِ بمقدارِ 8.39°C بينما تتغيَّرُ درجةُ حرارةِ القطعةِ النقديةِ بمقدارِ 68.0°C. ما كتلةُ القطعةِ النقدية؟ مع إغفالِ أيِّ انتقالٍ للحرارةِ من الماءِ إلى محيطِه.

**8.** تبلغُ درجةُ حرارةِ المياهِ عند أعلى نقطةٍ في شلالات «نياغارا» 10.0°C. افترضْ أن الطاقةَ الكامنةَ تتحوَّلُ كلُّها إلى رفعِ الطاقةِ الداخليةِ للماء، وأن كلَّ 4186 J/kg تؤدي إلى رفعِ درجةِ حرارةِ الماءِ بمقدار 1.0°C. إذا سقطَ 505 kg من الماءِ مسافةَ 50.0 m، فكم تصبحُ درجةُ حرارةِ هذه الكمّيةِ من الماءِ عندَ أسفلِ الشلاَّل؟

# التسخينُ والتبريدُ من الأرض

عَلِمَ القدماءُ الذين سكنوا الكهوفَ أن إحدى الطرائقِ المناسبةِ للحفاظِ على الدفءِ في الشتاءِ وعلى البرودةِ في الصيفِ هي السكنُ تحت الأرض.

يطبِّقُ العلماءُ والمهندسونَ الفكرةَ نفسَها، في هذه الأيام، باستخدامِ التقنياتِ الحديثةِ بشكلٍ مفيد، وذلك من أجلِ تدفئةِ البيوت وتبريدِها فوقَ الأرض بتكلفةٍ أقلَّ من الطرقِ التقليدية.

يقولُ غانار واليث في مركزِ NYSERDA الأميركي: «تكونُ لدرجةِ حرارةِ الأرضِ في أيِّ منطقةٍ قيمةٌ موسميةٌ متوسطة، هي حوالي 10°C في مدينةِ نيويورك، وذلك على مدارِ السنة.»

وعلى الرغم من أن متوسطَ السعةِ الحراريةِ النوعيةِ للأرضِ هو أقلُّ من السعةِ الحراريةِ النوعيَّةِ للهواء، إلا أن كثافةَ الأرضِ أكبر. يعني ذلك أنه توجدُ كتلةٌ من الأرضِ أكبرُ من كتلةِ الهواءِ على مقربةٍ من أحدِ المنازلِ بحيثُ يؤدي التغيُّرُ بمقدارِ 1°C في درجةِ الحرارةِ إلى تبادلٍ حراريٍّ أكبرَ مع الأرضِ مما مع الهواء. وعليه تكونُ درجةُ حرارةِ الأرضِ في فصلِ الشتاءِ أعلى من درجةِ حرارةِ الهواءِ فوقَها، ويكونُ العكسُ في فصلِ الصيف.

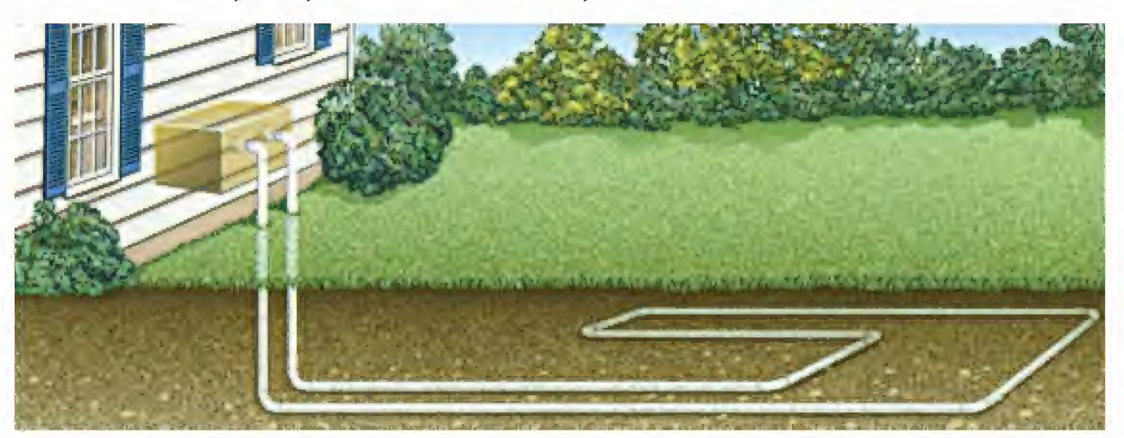
تساعدُ مضخَّةٌ للحرارةِ متَّصلةٌ بالأرضِ أصحابَ المنازلِ في استعمالِ درجةِ الحرارةِ التي تحت سطحِ الأرض، لتدفئةِ بيوتِهم في الشتاء وتبريدِها في فصلِ الصيف.

تتألَّفُ المِضَخةُ من شبكةٍ من الأنابيبِ البلاستيكية توضعُ في حفرةٍ على عمقِ مترينِ أو ثلاثةِ أمتارٍ تحتَ سطحِ الأرض. ولتدفئةِ المنزلِ يدورُ سائلٌ في الأنابيبِ فيمتصُّ الحرارةَ من باطنِ الأرضِ وينقلُها إلى مضخَّةٍ حراريةٍ داخل المنزل.

تتألفُ المضخَّةُ الحراريةُ من ضاغطِ هواءٍ ومجموعةٍ من الأنابيبِ وبرَّادٍ لنقلِ الطاقةِ من السائلِ إلى الهواءِ داخلَ المنزل، حيثُ يقومُ نظامُ ضخِّ المنافذ بتوزيعِ الهواءِ الساخنِ داخلَ المنزل. ووفقَ هيئةِ NYSERDA، فإن النظامَ يمكنُهُ أن يزوِّدَ المنزلَ بأربعةَ أمثالِ الطاقةِ الكهربائيةِ اللازمةِ لتشغيلِه.

وكباقي المضخَّاتِ الحراريةِ، يستطيعُ هذا النظامُ أن يعملَ بطريقةٍ معكوسةٍ أيضًا. فينقلُ في الصيفِ الطاقةَ من الهواءِ في المنزلِ إلى الأنابيبِ تحت سطحِ الأرض.

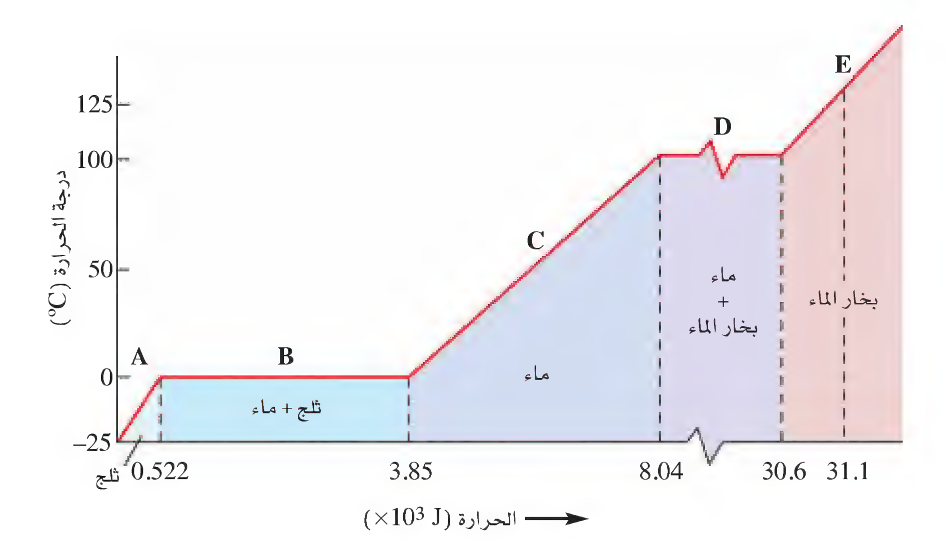
هناك الآنَ عشراتُ الآلافِ من المضخَّاتِ الحراريةِ المتصلةِ بالأرضِ في الولاياتِ المتحدةِ الأميركيةِ وحدَها. ومع أن هذا النظامَ يمكنُ أن يعملَ في أيِّ مكانٍ على سطحِ الأرض غيرَ أنه ليس ملائمًا للمناطقِ ذاتِ المناخِ القاسي حيث التقلُّباتُ الكبيرةُ في درجاتِ الحرارةِ لا تتناسبُ مع طريقةِ عملِ النظامِ المذكور.



# الحرارةُ الكامنة

إذا وضعتَ في مقلاةٍ مكعَّبًا من الثلج، درجةُ حرارتِهِ $-25°C$ ثم وضعتَ المقلاةَ فوقَ النار، فإن درجةَ حرارةِ المكعّبِ سترتفعُ إلى أن يبدأ بالانصهارِ عندَ درجةِ حرارة $0°C$. بمعرفةِ كتلةِ المكعّبِ والسعةِ الحراريةِ النوعيةِ للثلج، يمكنُكَ حسابُ الطاقةِ التي يكتسبُها الثلجُ من النار. يمكنُ تطبيقُ هذا المبدأِ ما دامَ الثلجُ ثلجًا ويؤدّي امتصاصُهُ للحرارةِ إلى ارتفاعٍ في درجةِ حرارتِه.

يدلُّ المنحنى في **الشكل 7-4** والبياناتُ في **الجدول 3-4** على تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ 10.0 g من الثلجِ لدى اكتسابِها الطاقة. يمكنُك أن تلاحظَ أنّ الثلجَ مع تسخينِهِ ترتفعُ درجةُ حرارتِهِ بالتدرجِ من $-25°C$ إلى $0°C$ (الجزء **A** من المنحنى).




**الشكل 7-4**
يُظهرُ المنحنى النموذجيُّ تغيُّرَ درجةِ الحرارةِ لـ 10.0 g من الثلج. كانت درجةُ حرارتِها عند بدءِ التسخين $-25°C$ وهي ثلج، فصارت $125°C$ وهي في حالةِ بخارِ الماءِ تحت ضغطٍ جويٍّ عاديّ.

يكونُ الموقفُ مختلفًا عندَ درجةِ الحرارةِ $0°C$. فبالرغمِ من الإضافةِ الدائمةِ للطاقة، فإن درجةَ الحرارةِ لا تتغيَّر. وبدلاً من ذلك تتغيَّرُ حالةُ الثلج. يبدأُ الثلجُ بالانصهار، ثم يتحوَّلُ إلى ماءٍ درجةُ حرارتِهِ $0°C$ (الجزء **B**). تبقى درجةُ حرارةِ الخليطِ، الثلجِ والماءِ، $0°C$ إلى أن يتحوَّلَ الثلجُ كلُّهُ إلى ماء. بعد ذلك تبدأُ درجةُ حرارةِ الماءِ في الارتفاعِ تدريجًا من $0°C$ إلى $100°C$ (الجزء **C**). تتوقَّفُ درجةُ الحرارةِ عن

**الجدول 3-4** **التغيُّراتُ الحاصلةُ عندَ تسخينِ 10.0 g من الثلج**

| الجزءُ من المنحنى | نوعُ التغيُّر | كمّيةُ الطاقةِ المتبادلةُ كحرارة | نطاقُ درجةِ الحرارة |
|---|---|---|---|
| A | ترتفعُ درجةُ حرارةِ الثلج | 522 J | $-25°C$ إلى $0°C$ |
| B | ينصهرُ الثلجُ ويتحوَّلُ إلى ماء | $3.33 \times 10^3$ J | $0°C$ |
| C | ترتفعُ درجةُ حرارةِ الماء | $4.19 \times 10^3$ J | $0°C$ إلى $100°C$ |
| D | يغلي الماءُ ويتحوَّلُ إلى بخار | $2.26 \times 10^4$ J | $100°C$ |
| E | ترتفعُ درجةُ حرارةِ بخارِ الماء | 502 J | $100°C$ إلى $125°C$ |

الارتفاعِ عندَ الدرجةِ 100°C، أي حين يبدأُ الماءُ بالتحوُّلِ إلى بخار (الجزء **D**). عندَما يتبخَّرُ الماءُ بأكملِهِ بالغليان، تبدأُ درجةُ حرارةِ البخارِ بالارتفاع (الجزء **E**). يسمَّى البخارُ الذي تزيدُ درجةُ حرارتِهِ عن درجةِ حرارةِ غليانِ الماء البخارَ المُسخّن.

عندما تنصهرُ الموادُّ أو تتجمَّدُ أو تغلي أو تتكثَّفُ، تؤدّي الحرارةُ المتبادلةُ إلى تغييرٍ في الطاقةِ الداخليةِ للمادّةِ دون أن تُغيِّرَ درجةَ حرارتِها. هذه التغيُّراتُ في المادة تُسمَّى **تغيُّراتِ الحالة** phase changes.

### تغيُّرات الحالة

التغيّراتُ الفيزيائيةُ لحالةِ المادةِ (صلب، سائل، غاز) إلى حالةٍ أخرى عند درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ وتحتَ ضغطٍ ثابت.

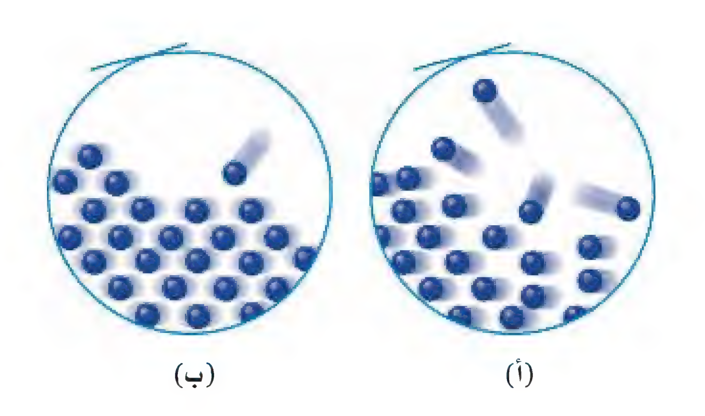
يتطلّبُ وجودُ تغيُّراتِ الحالةِ تطويرًا لتعريفِ الحرارة. *الحرارةُ هي الطاقةُ المتبادلةُ بين جسمَين عندَ درجتَيّ حرارةٍ مختلفتَين، أو بينَ جسمَين عندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها إذا تعرَّض أحدُهما لتغيُّرٍ في حالتِه.*

## تغيُّرُ الحالةِ والطاقةِ الكامنةِ بينَ الجُسيمات

لفهمِ سلوكِ الموادِّ لدى تغيُّرِ حالتِها، عليك أن تتذكّرَ طريقةَ تبادلِ الطاقةِ أثناءَ التصادمات. الطاقةُ الكامنةُ هي طاقةُ الجسمِ الناتجةُ عن موقعِهِ بالنسبةِ لجسمٍ آخر. يعتبرُ القلمُ الذي يوشِكُ أن يقعَ عن مكتبِكَ إلى الأرضِ والشريطُ المطاطيُّ المستطالُ مثالينِ على الطاقةِ الكامنة. توجدُ الطاقةُ الكامنةُ بين مجموعةِ جسيماتِ المادةِ الصلبةِ أو السائلةِ نتيجةَ القوةِ الجذبيةِ فيما بينها. تنتجُ هذه القوى من الشحناتِ الموجودةِ على الذرّاتِ أو الجزيئات، وتتّصلُ الطاقةُ الكامنةُ بالقوى الكهربائيةِ بين هذه الشحنات.

ينتجُ التباعدُ بين الذرّاتِ والجزيئاتِ في حالةِ الاتّزانِ عن حالةٍ تكونُ فيها الطاقةُ الكامنةِ عند أدنى قيمةٍ لها. تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ بازديادِ البعدِ بين الذرّاتِ بدءًا من حالةِ الاتزان. يشبهُ هذا الموقفُ حالةَ النابضِ المستطال. لذلك غالبًا ما يُنظرُ إلى مجموعةِ الذرّاتِ والجزيئاتِ والروابطِ القائمةِ بينها ككتلٍ مربوطةٍ بأطرافِ نوابض.

إذا أصبحَتِ المسافةُ بين الجسيماتِ كبيرةً جدًّا يمكنُ أن تنقطعَ الروابطُ التي بينها. ينتجُ الشغلُ اللازمُ لزيادةِ الطاقةِ الكامنةِ وكسرِ الروابطِ عن التصادمِ مع ذرّاتٍ أو جزيئاتٍ ذاتِ طاقاتٍ عالية، كما في **الشكل 4-8**. وكما يمكنُ للروابطِ أن تنقطعَ، كذلك يمكنُ تشكيلُ روابطَ جديدةٍ إذا قُرِّبَتِ الذرّاتُ والجزيئاتُ بعضُها من بعض. يتطلَّبُ ذلك من مجموعةٍ من الجسيماتِ أن تنتقلَ من طاقةٍ كامنةٍ عاليةٍ (متوسطِ مسافاتٍ كبيرة) إلى طاقةٍ كامنةٍ منخفضةٍ (متوسّط مسافاتٍ صغيرة). يؤدّي هذا الانخفاضُ في الطاقةِ الكامنةِ إلى ازديادٍ في طاقةِ حركةِ الجسيماتِ المجاورة.




**الشكل 4-8**

يمكنُ للطاقةِ المضافةِ إلى مادّةٍ أن تؤدّيَ (أ) إلى ازديادٍ في طاقةِ الحركةِ التذبذبيّةِ لجُسيماتِ المادّةِ أو (ب) إلى كسرِ الروابطِ بينَ هذه الجُسيمات.

## الطاقةُ اللازمةُ لانصهارِ المادةِ وإعادةِ تنظيمِ الجُزيئات

يَنتُجُ التغيُّرُ في الحالةِ عن تغيُّرٍ في الطاقةِ الكامنةِ جُسيماتِ المادّة. عندَما يحدثُ تبادلٌ للطاقةِ مع إحدى الموادّ تتعرَّضُ هذه المادّةُ لتغيُّرٍ في حالتِها، وتعيدُ جسيماتُ المادةِ ترتيبَ أماكنِها وفقًا للتغيُّرِ الحاصلِ في الطاقة. يحدثُ ذلك من دونِ تغيُّرٍ في متوسّطِ طاقةِ حركةِ الجُسيمات.

فعند انصهارِ الثلجِ، مثلاً، تكونُ الطاقةُ المكتسبةُ كافيةً لقطعِ الروابطِ الضعيفةِ التي تجمعُ ذرَّاتِ الماءِ على شكلِ بلّورةٍ منتظمة. تتكوَّنُ روابطُ جديدةٌ، لكنْ مختلفة، في جزيئاتِ الماءِ السائلِ التي تتركُ المواقعَ البلّوريةَ بحيث يُعطى مَرَّةً أخرى جزءٌ من الطاقةِ المكتسبة. يكونُ الفرقُ بين الطاقتَيْنِ الكامنتَيْنِ للروابطِ المنكسرةِ وتلك المكوَّنةِ من جديدٍ مساويًا لمحصِّلةِ الطاقةِ المضافةِ إلى الثلج، كما يظهرُ في **الشكل 4-9**. لذلك لا تؤدّي الطاقةُ المستخدمةُ لإعادةِ ترتيبِ الجُزيئاتِ إلى زيادةِ طاقةِ حركتِها، وعليه لا يطرأُ أيُّ تغييرٍ على درجةِ حرارةِ خليطِ الثلجِ والماء.




**الشكل 4-9**

حرارةُ الانصهارِ تساوي الفرقَ بين الطاقةِ اللازمةِ لكسرِ روابطِ الحالةِ الصلبةِ وبين الطاقةِ الناتجةِ عند تكوُّنِ روابطِ الحالةِ السائلة.

الحرارةُ المضافةُ إلى أيِّ مادةٍ خلالَ انصهارِها تساوي الفرقَ بين الطاقتَين الكامنتين الكليتين لجزيئاتِها في الحالتين الصلبةِ والسائلة. تُسمَّى هذه الطاقةُ لكلِّ وحدةِ كتلةٍ **حرارةَ الانصهار** heat of fusion.

**حرارةُ الانصهار**

الطاقةُ المتبادلةُ في وحدةِ الكتلةِ لتحويلِ المادةِ من صلبٍ إلى سائلٍ، أو من سائلٍ إلى صلبٍ على درجةِ حرارةٍ وضغطٍ ثابتَين.

## الطاقةُ اللازمةُ لغليانِ الماءِ وتباعُدِ الجُزيئات

الماءُ في حالتِه السائلةِ تكونُ جزيئاتُه على تقاربٍ أكبرَ، بالمقارنةِ مع حالةِ الثلج. وتكونُ القُوى بين جُزيئاتِ الماءِ في حالتِه السائلةِ أقوى من القوى الموجودةِ بينَ جزيئاتِ بخارِ الماءِ المتباعدة. لذلك تُستعملُ كلُّ الطاقةِ التي يكتسبُها الماءُ عند درجةِ الحرارةِ 100°C للتغلُّبِ على قوى الجذبِ بين جُزيئاتِ الماءِ في حالتِه السائلة. ولا يؤدي أيُّ جزءٍ من هذه الطاقةِ إلى رفعِ طاقةِ حركةِ هذه الجُزيئات.

تساوي الطاقةُ المضافةُ إلى مادةٍ أثناءَ غليانِها الفرقَ بين الطاقتَين الكامنتَين الجذبيتَين لجُسيماتِها في الحالتَين السائلةِ والغازية (انظرِ **الشكل 4-10**). وتُسمَّى هذه الطاقةُ في وحدةِ الكتلةِ **حرارةَ الغليان** heat of vaporization.

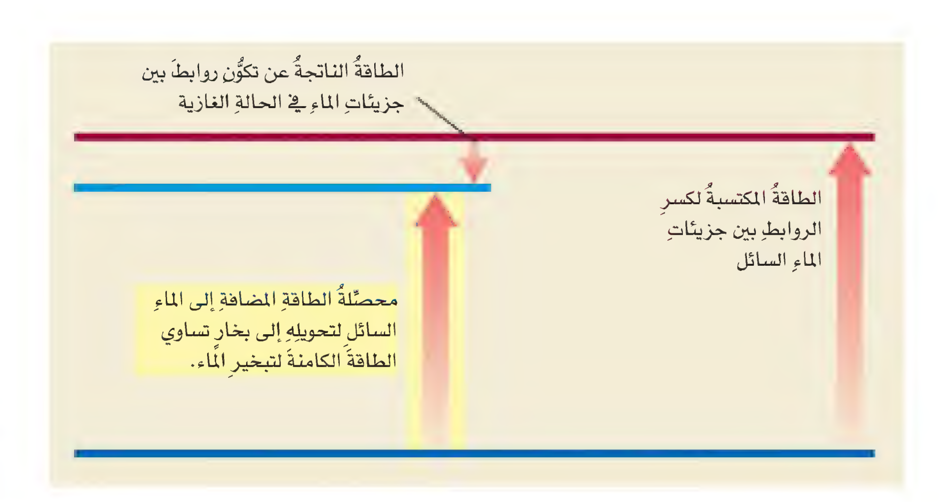
**حرارةُ الغليان**

الطاقةُ المتبادلةُ في وحدةِ الكتلةِ لتحويلِ المادةِ من سائلٍ إلى غازٍ، أو من غازٍ إلى سائلٍ عند درجةِ حرارةٍ وضغط ثابتين.

ونتيجةً لكونِ جسيماتِ الغازِ متباعدةً جدًّا، تكونُ الروابطُ بينَها ضعيفةً، والطاقةُ الناتجةُ عنها قليلة. لذلك تكونُ الطاقةُ اللازمةُ لتبخيرِ كتلةٍ محدَّدةٍ من مادَّةٍ معيَّنةٍ أكبرَ من الطاقةِ اللازمةِ لانصهارِها. وعليه تكونُ طاقةُ التبخيرِ أكبرَ بكثيرٍ من طاقةِ الانصهار. وللطاقتَينِ اسمٌ واحدٌ هو **الحرارةُ الكامنة** latent heat.

**الحرارة الكامنة**

الطاقةُ المتبادلةُ في وحدةِ الكتلةِ أثناء تغيُّرِ حالةِ المادة.




**الشكل 4-10**

حرارةُ التبخيرِ هي معظمُ الطاقةِ اللازمةِ لفصلِ الجُزيئاتِ في حالةٍ سائلة.

### الحرارةُ الكامنة

$$Q = mL$$

**الطاقةُ المتبادلةُ كحرارةٍ خلالَ التغيُّرِ في الحالة = الكتلة × الحرارة الكامنة**

في حساباتِ عملياتِ الانصهارِ أو التجمُّدِ، يُرمزُ إلى الحرارةِ الكامنةِ للانصهارِ بالرمز $L_f$. وكذلك، في عملياتِ التبخيرِ أو التكثيف، يُستخدَمُ الرمزُ $L_v$ للدلالةِ على الحرارةِ الكامنةِ للتبخير. يعرِضُ **الجدول 4-4** لائحةً بالحرارةِ الكامنةِ لبعضِ المواد.

**الجدول 4-4 الحرارةُ الكامنةُ للانصهارِ والتبخيرِ عند ضغطٍ جوّي معياريّ**

| المادة | درجةُ حرارةِ الانصهار (°C) | $L_f$ (J/kg) | درجةُ حرارةِ الغليان (°C) | $L_v$ (J/kg) |
|---|---|---|---|---|
| النيتروجين | −209.97 | $2.55 \times 10^4$ | −195.81 | $2.01 \times 10^5$ |
| الأوكسجين | −218.79 | $1.38 \times 10^4$ | −182.97 | $2.13 \times 10^5$ |
| الكحول الإثيلي | −114 | $1.04 \times 10^5$ | 78 | $8.54 \times 10^5$ |
| الماء | 0.00 | $3.33 \times 10^5$ | 100.00 | $2.26 \times 10^6$ |
| الرصاص | 327.3 | $2.45 \times 10^4$ | 1745 | $8.70 \times 10^5$ |
| الألمنيوم | 660.4 | $3.97 \times 10^5$ | 2467 | $1.14 \times 10^7$ |

## مثال 4 (ج)

### حرارةُ تغيُّرِ الحالة

**المسألة**

**ما الحرارةُ المفقودةُ لدى تبريدِ 10.0 g من بخارِ ماءٍ درجةُ حرارتِهِ 133.0°C لتحويلِهِ إلى سائلٍ درجةُ حرارتِهِ 53.0°C؟**

**الحــل**

**1. أعرِّف**

**المعطى:**

$T_{\text{البخار}} = T_s = 133.0°C$

$T_{\text{الماء}} = T_w = 53.0°C$

$c_{p,\text{البخار}} = c_{p,s} = 2.01 \times 10^3 \text{ J/kg}\bullet°C$

$c_{p,\text{الماء}} = c_{p,w} = 4.186 \times 10^3 \text{ J/kg}\bullet°C$

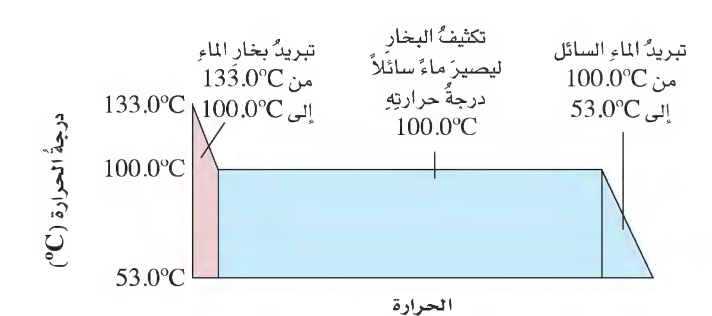
$L_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

$m = 10.0 \text{ g} = 10.0 \times 10^{-3} \text{ kg}$

**المجهول:**

$Q_{\text{الكلية}} = ?$

**الشكل:**




**2. أُخطِّط**

**أختارُ معادلةً (أو معادلاتٍ) أو موقفًا:** تُحسَبُ الحرارةُ باستعمالِ $Q = mc_p\Delta T$ ما لم يكنْ هناك تغيُّرٌ في الحالة. أما في حالةِ تحوُّلِ بخارِ الماءِ إلى ماءٍ سائلٍ فهناك تغيُّرٌ في الحالة، وتُستعمل معادلةُ طاقةِ التبخيرِ $Q = mL_v$. تأكَّدْ من أن $\Delta T$ موجبةٌ في كلِّ مرحلة.

لتبريدِ بخارِ الماءِ إلى درجةِ الحرارة 100.0°C: $Q_1 = mc_{p,s}\Delta T$

لتحويلِ بخارِ الماءِ إلى ماءٍ سائلٍ درجةُ حرارتِهِ 100.0°C: $Q_2 = mL_v$

لتبريدِ الماءِ إلى 53.0°C: $Q_3 = mc_{p,w}\Delta T$

**3. أحسُب**

**أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحسُب:** أجدُ $\Delta T$ لمرحلتَيْ تبريدِ بخارِ الماءِ وتبريدِ الماءِ السائل.
أحسبُ $Q_1$ و $Q_2$ لعمليتَي التبريد و $Q_3$ لتغيُّرِ الحالة.

لتبريدِ بخارِ الماء:

$$\Delta T_s = 133.0°C - 100.0°C = 33.0°C$$

$$Q_1 = mc_{p,s}\Delta T = (10.0 \times 10^{-3} \text{ kg})\left(2.01 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}\bullet°C}\right)(33.0°C)$$

$$= 663 \text{ J}$$

لتكثيفِ بخارِ الماءِ إلى ماء:

$$Q_2 = mL_v = (10.0 \times 10^{-3}\ kg)\left(2.26 \times 10^6 \frac{J}{kg}\right)$$
$$= 2.26 \times 10^4\ J$$

لتبريدِ الماء:

$$\Delta T_w = 100.0°C - 53.0°C = 47.0°C$$
$$Q_3 = mc_{p,w}\Delta T = (10.0 \times 10^{-3}\ kg)\left(4.186 \times 10^3 \frac{J}{kg{\bullet}°C}\right)(47.0°C)$$
$$= 1.97 \times 10^3\ J$$

$$Q_{\text{الكلية}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$= 663\ J + 2.26 \times 10^4\ J + 1.97 \times 10^3\ J$$
$$= 2.52 \times 10^4\ J$$
$$\boxed{Q_{\text{الكلية}} = 2.52 \times 10^4\ J}$$

**جوابُ الآلةِ الحاسبة**

بناءً على قوانينِ الأرقامِ المعنوية خلالَ عملياتِ الجمع، يجبُ تقريبُ الجوابُ 25233 إلى $2.52 \times 10^4$.

**4. أقيِّم**

معظمُ الطاقةِ تعطى للجسمِ أو تؤخذُ منه خلالَ تغيُّراتِ الحالة. في هذا المثالِ تشكِّلُ حرارةُ التبخيرِ حوالي 90 % من الحرارةِ الكلّيةِ المفقودة.

## تطبيق 4 (ج)

**حرارةُ تغيُّرِ الحالة** (ملاحظة: استعملِ **الجدولين 4-2 و 4-4**).

1. ما الطاقةُ اللازمةُ لتحويلِ 42 g من ثلجٍ عند $-11°C$ إلى بخار ماء عند $111°C$؟
2. يُستعملُ النيتروجينُ السائلُ الذي درجةُ حرارتِهِ في الغليان 77 K لتبريدِ الموادِّ إلى درجاتِ حرارةٍ منخفضة. ما الطاقةُ التي يجبُ أن تُستخرَجَ من 1.0 kg من غازِ نيتروجين درجةُ حرارتِهِ 77 K لتحويلِهِ بكاملِهِ إلى سائل؟
3. ما الطاقةُ اللازمةُ لصَهْرِ 0.225 kg من الرصاصِ علمًا بأن درجةَ الحرارةِ الابتدائيّةَ للرصاصِ مباشرةً بعد انصهارِه $27.3°C$.
4. ما الطاقةُ اللازمةُ لصَهْرِ 1000 علبةٍ من الألمينيوم بشكلٍ تامٍّ من أجلِ تكويرِها، إذا كانَت كتلةُ كلٍّ منها 14.0 g؟ افترضْ أن درجةَ الحرارةِ الابتدائيةِ $26.4°C$؟
5. أُضيفَ مكعَّبٌ من الثلجِ كتلتُهُ 0.011 kg ودرجةُ حرارتِهِ $0.0°C$ إلى 0.450 kg من حساءٍ عند $80.0°C$. افترضْ أن السعةَ الحراريةَ النوعيةَ للحساءِ تساوي السعةَ الحراريةَ النوعيةَ للماء، فما درجةُ الحرارةِ النهائيةُ للحساءِ بعد انصهارِ الثلجِ بأكملِه؟ (ملاحظة: هناك تغيُّرٌ في درجةِ الحرارةِ بعدَ انصهارِ الثلج.)
6. صُبَّ في قالبٍ 25 kg من الألمينيوم المنصهرِ عندَ درجةِ حرارة $660.4°C$. تمَّتِ العمليةُ في غرفةٍ تحتوي على 130 kg من الهواءِ عند درجةِ حرارة $25°C$. ما درجةُ حرارةِ الهواءِ النهائيةُ بعدَ تجمُّدِ الألمينيوم؟ افترضْ أن السعةَ الحراريةَ النوعيةَ للهواءِ $1.0 \times 10^3\ J/kg{\bullet}°C$.
7. ينزلقُ قالبٌ من الثلجِ كتلتُهُ 2.5 kg ودرجةُ حرارتِهِ $0.0°C$ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 5.7 m/s على أرضٍ مستويةٍ أفقيًّا. إذا احتجْنا إلى $3.3 \times 10^5\ J$ لصَهْرِ 1.0 kg من الثلج، فما كتلةُ الثلجِ المنصهرِ مع الافتراضِ أن كلَّ طاقةِ حركةِ الثلجِ الابتدائيةِ قد تحوَّلَتْ إلى طاقةٍ داخليةٍ للثلج؟

## مراجعةُ القسم 2-4

**1.** يُعالِجُ صائغ خاتَمًا من الذهبِ المسخنِ كتلتُه 47 g. إنه يريدُ أن يخفضَ درجةَ حرارتِهِ ليتمكَّنَ من معالجتِهِ بأمان. إذا كانَتْ درجةُ الحرارةِ الابتدائيةُ 99°C، فما كتلةُ الماءِ المطلوبةُ عند درجةِ حرارة 25°C لخفضِ درجةِ حرارةِ الخاتَمِ إلى 38°C بعدَ وضعِهِ في الماء؟

**2.** باستعمالِ مبدأَيِ الحرارةِ الكامنةِ والطاقةِ الداخليةِ، اشرحْ سببَ صعوبةِ إشعالِ النارِ في خشبٍ رَطْب.

**3.** لماذا يؤدي بخارُ الماءِ عندَ درجةِ حرارة 100°C إلى حروقٍ أشدَّ من التي يسببُها الماءُ عند درجةِ الحرارةِ نفسِها (100°C)؟

**4.** باستعمالِ منحنى التسخينِ لـ 15 g من عيِّنة، كما في **الشكل 4-11**، قدِّرْ قيمةَ الخصائصِ التاليةِ للمادةِ المُستعملة:

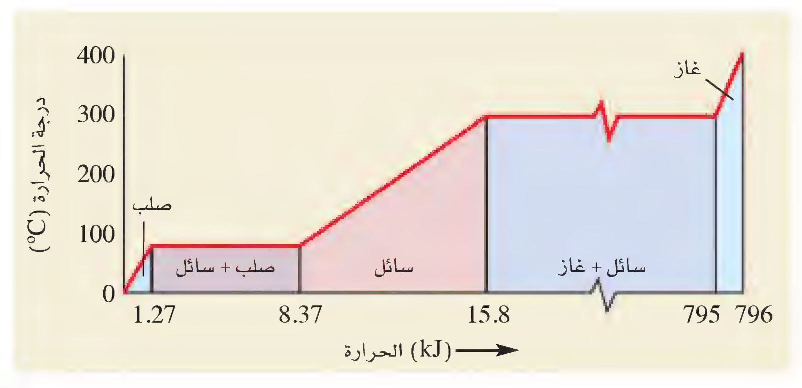
أ. السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للسائل

ب. الحرارةُ الكامنةُ للانصهار

ج. السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للصلب

د. السعةُ الحراريةُ النوعيةُ للبخار

هـ. الحرارةُ الكامنةُ للتبخير




**الشكل 4-11**

**5. الفيزياءُ في حياتِنا اليومية :** ما الطاقةُ التي يحتاجُ إليها وعاءٌ يحتوي على 125 حبَّةً من الذرةِ كي تتحوَّلَ إلى شاميةٍ (فُشار) عندَ درجةِ حرارة 175°C؟ افترضْ أن درجةَ الحرارةِ الابتدائية 21°C وأن السعةَ الحراريةَ النوعيةَ للذرة 1650 J/kg•°C وأن كتلةَ كلِّ حَبَّةٍ من حَبَّاتِ الذرة 0.105 g.

**6. الفيزياءُ في حياتِنا اليومية :** بسببِ الضغطِ داخلَ حَبَّةِ الذرة، لا يتبخرُ الماءُ الذي بداخِلِها عند درجةِ حرارة 100°C، بل يحتاجُ إلى درجةِ حرارة 175°C حيث تنفلقُ الحبَّة، ويتحوَّلُ الماءُ المسخَّنُ إلى بخار. ما الطاقة اللازمةُ لانفلاقِ 95.0 g من الذُّرَةِ وتحويلِها إلى شامية (فُشار)، إذا كانَ 14% من كتلتِها ماءً؟ افترضْ أن الحرارةَ الكامنةَ لتبخيرِ الماءِ على 175°C تساوي 0.90 من قيمتِها عند تبخيرِهِ على 100°C، وأن درجةَ الحرارةِ الابتدائية لحبَّاتِ الذرةِ 175°C.

القسم 3-4

# علاقةُ الحرارةِ بالشغل

## *Relationship Between Heat and Work*

### 3-4 مؤشّراتُ الأداء

- يتحقّقُ من أنه يمكنُ لنظامٍ معيّنٍ أن يأخذَ أو يعطيَ الطاقةَ على شكلِ حرارةٍ بحيث يُبذَلُ الشغلُ على النظامِ أو بوساطتِه، وأن الشغلَ المبذولَ بوساطةِ النظامِ أو عليه يمكنُ أن يؤدّيَ إلى تبادلِ الطاقةِ كحرارة.
- يحسبُ كمّيةَ الشغلِ المبذولةَ خلالَ عمليةِ ديناميكا حرارية.
- يميّزُ بين عملياتِ الديناميكا الحراريةِ الأديباتيةِ أو الأيزوثرميةِ أو عندَ حجمٍ ثابت.

## الحرارةُ والشغلُ والطاقةُ الداخلية

تذكَّرْ مما سبقَ كيف يؤدّي سحبُ مسمارٍ من قطعةٍ خشبية، كما في **الشكل 4-12**، إلى رفعِ درجةِ حرارةِ المسمار. يؤدّي الشغلُ المبذولُ للتغلُّبِ على الاحتكاكِ بين المسمارِ والخشبِ إلى زيادةِ طاقةِ حركةِ ذرّاتِ الحديدِ في المسمارِ وفي جزيئاتِ الخشب. يؤدّي هذا الارتفاعُ في طاقةِ حركةِ الجُسيماتِ إلى ارتفاعٍ في الطاقةِ الداخليةِ للمسمارِ والخشبِ عند سطحَيْ تلامسِها.

وما دامَتْ حالةُ المادّةِ لم تتغيَّرْ، فإن درجةَ حرارتِها تزدادُ مع ازديادِ طاقتِها الداخلية. ويؤدّي ارتفاعُ الطاقةِ الداخليةِ لسطحِ المسمارِ إلى ارتفاعٍ في درجةِ حرارتِه، فتصبحُ أعلى من درجةِ الحرارةِ داخلَ المسمار. ونتيجةً لذلك تنتقلُ الطاقةُ من سطحِ المسمارِ إلى داخلِه. يتوقَّفُ هذا الانتقالُ الحراريُّ عندَما تصلُ جميعُ جسيماتِ المسمارِ إلى اتّزانٍ حراريّ.



**الشكل 4-12**
يزيدُ الشغلُ المبذولُ الطاقةَ الداخليةَ لسطحِ المسمار. تنتقلُ الطاقةُ من سطحِ المسمارِ كحرارة.

رأينا أن الشغلَ المبذولَ لسحبِ المسمارِ من الخشبِ يؤدي إلى ارتفاعٍ في طاقةِ المسمارِ الداخلية. وينتقلُ جزءٌ من هذه الطاقةِ إلى الخشبِ على شكلِ حرارة. وتصيرُ درجةُ الحرارةِ النهائيةُ للخشبِ والمسمارِ أعلى من درجةِ حرارتِهما الابتدائية. يدلُّ هذا الارتفاعُ في درجةِ الحرارةِ على أن الطاقةَ الداخليةَ لكلٍّ من الخشبِ والمسمارِ ارتفعَتْ نتيجةً للشغلِ المبذولِ عليهما.

لاحظْ أن هذا الوصفَ يتطلَّبُ تعريفًا دقيقًا للطاقة. إن الطاقةَ الميكانيكيةَ التي أُضيفتْ إلى المسمارِ والخشبِ لا تكونُ محفوظةً في هذه الحالة. إن مبدأَ حفظِ الطاقةِ المقدَّمَ لا يأخذُ في الاعتبارِ التغيُّراتِ في الطاقةِ الداخليةِ ولا الطاقةَ التي يتمُّ تبادلُها كحرارةٍ وفقَ ما رأينا في القسمَيْن 4-1 و 4-2. وإنه لمن المفيدِ أحيانًا تعميمُ مبدأِ حفظِ الطاقةِ لكي يشتملَ على الطاقةِ الداخليةِ والحرارة.

### استعمالُ الحرارةِ لإنتاجِ الشغل

يمكنُ للشغلِ أن يعطيَ الطاقةَ لمادّةٍ معيَّنةٍ ويرفعَ بالتالي طاقتَها الداخلية، كما يمكنُ خفضُ الطاقةِ الداخليةِ بنقلِ الطاقةِ من المادةِ على شكلِ حرارة. ويمكن أيضًا حصولُ العكس، إذ يمكنُ للطاقةِ أن تنتقلَ إلى المادَّةِ على شكلِ حرارةٍ، أو أن تنتقلَ منها على شكلِ شغل.

افترضْ أن بالونًا قد ثُبِّتَ عند فوّهةِ وعاءٍ زجاجيٍّ فيه ماء، وأن الوعاءَ قد سُخِّنَ إلى أن يغليَ الماءُ الذي بداخلِه. تؤدّي الطاقةُ المنتقلةُ من اللهبِ على شكلِ حرارةٍ إلى ازديادِ الطاقةِ الداخليةِ للماء. وعندَما تصلُ درجةُ حرارةِ الماءِ إلى الغليانِ يتحوَّلُ الماءُ إلى بخار. وعندَ درجةِ الحرارةِ هذه يزدادُ حجمُ البخار، ويؤدّي تمدُّدُ البخارِ إلى قوةٍ تدفعُ

البالونَ بعكسِ اتّجاه قوةِ الضغطِ الجويّ، كما في **الشكل 4-13**. يبذُلُ البخارُ شغلاً على البالونِ وتنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ للبخارِ، كما هو متوقَّعٌ، نتيجةً لمبدأ حفظِ الطاقة.

## انتقالُ الحرارةِ والشغلِ كطاقةٍ من النظامِ وإليه

إن الشغلَ والحرارةَ متشابهانِ بحسبِ وجهةِ النظرِ المجهرية. وليس أيٌّ منهما من خصائصِ المادَّة، بل هما نوعانِ من أنواعِ الطاقةِ التي يتمُّ نقلُها من المادةِ أو إليها، فتتغيّرُ بذلك طاقتُها الداخلية. يظهرُ هذا التغيُّرُ في الطاقةِ الداخليةِ بدلالةِ التغيُّرِ في درجةِ حرارةِ المادةِ أو في حالتِها.

لقد تمَّ، حتى الآن، التعاملُ مع الطاقةِ الداخليةِ لمادةٍ أو مجموعةٍ من الموادِّ ككمّيةٍ مستقلةٍ يمكنُ أن تضافَ إليها الطاقةُ أو تؤخذَ منها. هذه المادةُ أو المجموعةُ من الموادِّ تسمَّى **النظام** system. تكونُ جميعُ أجزاءِ النظامِ في حالةِ اتّزانٍ حراريٍّ فيما بينها قبل أو بعد أيِّ عمليةِ تبادلٍ للطاقة.

أحدُ أمثلةِ النظامِ هو الوعاءُ والماءُ والبالونُ والبخارُ الذي تمَّ تسخينُهُ بوساطةِ اللهب. مع انتقالِ الطاقةِ كحرارةٍ إلى النظامِ ترتفعُ طاقتُهُ الداخلية. عندما يتمدَّدُ البخارُ، وهو جزءٌ من النظام، تنخفضُ الطاقةُ الداخليةُ للنظامِ بالتمدُّدِ وبذلِ شغلٍ على البالون. جزءُ الطاقةِ الذي انتقلَ إلى النظامِ على شكلِ حرارةٍ خرجَ من النظامِ على شكلِ شغلٍ بذلَهُ البالونُ على الهواءِ المحيطِ به.

ومع أن النظامَ يُعتبرُ في الغالبِ معزولاً، فإنه في كثيرٍ من الحالاتِ يتفاعلُ مع الوسطِ المحيطِ به. ففي المثالِ أعلاهُ تمَّ تبادلٌ حراريٌّ بينَ اللهبِ والنظام، وكانَ شغلٌ بذلَهُ النظامُ على الوسطِ المحيطِ حيث دفعَ البالونُ الهواءَ الخارجيَّ نحوَ الخارج، كما انتقلتِ الطاقةُ أيضًا على شكلِ حرارةٍ إلى الهواءِ المحيطِ بالوعاءِ نتيجةً للفرقِ في درجةِ الحرارةِ بينَ الوعاءِ والهواءِ المحيطِ به. يسمَّى الوسطُ الذي يحيطُ بالنظامِ ويتفاعلُ معه **الوسطَ المحيط** environment.



**الشكل 4-13**
الطاقةُ المتبادلةُ كحرارةٍ تحوِّلُ الماءَ إلى بخار. تبذلُ طاقةُ البخارِ شغلاً ضدَّ القوى المؤثرةِ في البالونِ من الخارج.

**النظامُ الديناميكيُّ الحراريّ**

كمّيةٌ من المادةِ ضمنَ حدودٍ واضحةٍ ومحدَّدةٍ لا يمكنُ للمادَّةِ الانتقالُ من خلالِها.

**الوسطُ المحيط**

كلُّ شيءٍ خارجَ النظامِ يمكنُ أن يؤثرَ في النظامِ أو يتأثرَ به.

## علاقةُ الشغلِ المبذولِ بالضغطِ وتغيُّرِ الحجم

يُعرَّفُ الشغلُ، كحاصلِ الضربِ العدديِّ للقوةِ المؤثِّرةِ في جسمٍ في إزاحةِ الجسمِ في اتجاهِ تلك القوة. يُعرَّفُ الشغلُ الديناميكيُّ الحراريُّ ببساطةٍ على أنه حاصلُ الضربِ العدديِّ لضغطِ الغازِ في التغيُّرِ الحاصلِ في حجمِه. يمكنُ الحصولُ على هذا التعريفِ انطلاقًا من التعريفِ السابقِ باستعمالِ تعريفِ الضغطِ (حاصلُ قسمةِ القوةِ العموديّةِ على المساحة) والتغيُّرِ في الحجم (حاصلُ ضربِ المساحةِ والإزاحة).

**تعريفُ الشغلِ بدلالةِ تغيُّرِ الحجم**

$$W = Fd$$

**الشغل = القوة × الإزاحة**

$$W = Fd\left(\frac{A}{A}\right) = \left(\frac{F}{A}\right)(Ad) = P\Delta V$$

**الشغل = الضغط × التغيُّر في الحجم**

عندما يكونُ الضغطُ ثابتًا، يمكنُ كتابةُ الشغلُ هكذا $P\Delta V$ بدلاً من $\Delta(PV)$. إذا تمدَّدَ الغازُ، كما في **الشكل 14-4**، تكونُ $\Delta V$ موجبةً إذ يقومُ الغازُ ببذلِ شغلٍ على المكبس. وإذا ضُغِطَ الغازُ تكونُ $\Delta V$ سالبةً ويكونُ الشغلُ المبذولُ بوساطةِ الغازِ على المكبسِ سالبًا (أي إن المكبسَ يبذلُ شغلاً على الغاز). إذا بقيَ حجمُ الغازِ ثابتًا، لا يكونُ هناك إزاحةٌ، ثم إنه لا يُبذَلُ شغلٌ لا بوساطةِ النظامِ ولا عليه.

وإن الشغلَ، حتى مع تغيُّرِ الضغطِ خلالَ عمليةٍ معيَّنةٍ، لا يُبذَلُ إلا بتغيُّرِ الحجم. وازديادُ الضغطِ مع بقاءِ الحجمِ ثابتًا يشبهُ حالةَ بذلِ قوةٍ على كتلةٍ دونَ أن تتسبَّبَ في إزاحتِها. فالشغلُ لا يُبذَلُ في كلتا الحالتيْن.



**الشكل 14-4**

الشغلُ المبذولُ على الغازِ أو بوساطتِهِ يساوي حاصلَ ضربِ التغيُّرِ في الحجمِ (المساحةُ $A$ مضروبةً في الإزاحةِ $d$) وضغطِ الغاز.

## مثال 4 (د)

### الشغلُ المبذولُ على غازٍ أو بوساطتِه

**المسألة**

**تبلغُ مساحةُ قاعدةِ أسطوانةِ محرِّكٍ $0.010\ m^2$. ما الشغلُ الذي يمكنُ أن يقومَ به الغازُ في داخلِ الأسطوانةِ إذا بَذَلَ الغازُ على المكبسِ ضغطًا ثابتًا $7.5 \times 10^5$ Pa، وأدَّى ذلك إلى تحريكِهِ مسافة $0.040$ m؟**

**الحلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $A = 0.010\ m^2$    $d = 0.040\ m$

$P = 7.5 \times 10^5\ Pa = 7.5 \times 10^5\ N/m^2$

**المجهول:** $\Delta V = ?$    $W = ?$

**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ تغيُّرِ الحجمِ كضربٍ للمساحةِ في المسافةِ وتعريفِ الشغل بدلالةِ تغيُّرِ الحجم.

$$\Delta V = Ad$$
$$W = P\Delta V$$

**3. أحسُب**

$$\Delta V = (0.010\ m^2)(0.040\ m) = 4.0 \times 10^{-4}\ m^3$$
$$W = (7.5 \times 10^5\ N/m^2)(4.0 \times 10^{-4}\ m^3) = 3.0 \times 10^2\ J$$

الشغلُ المبذولُ بوساطةِ الغاز = $3.0 \times 10^2$ J

**فكرة مفيدة**

بما أنّ $W$ موجبةٌ، يمكنُنا أن نستنتجَ أن الشغلَ يبذلُه الغازُ وليسَ الشغلُ مبذولاً عليه.

## تطبيق 4 (د)

**الشغلُ المبذولُ على غازٍ أو بوساطتِه**

1. يبلغُ ضغطُ الغازِ في وعاءٍ $1.6 \times 10^5$ Pa، وحجمُهُ $4.0$ m$^3$. ما الشغلُ المبذولُ بوساطةِ الغازِ
   أ. إذا تمدَّدَ عندَ ضغطٍ ثابتٍ حتى مثلَيْ حجمِهِ الابتدائي؟
   ب. إذا قلَّ حجمُهُ عندَ ضغطٍ ثابتٍ إلى ربعِ حجمِهِ الابتدائي؟
2. أُدخِلَتْ كميةٌ من الغازِ في أسطوانةٍ مزوَّدةٍ بمكبس. تمَّ الحفاظُ على ضغطٍ ثابتٍ قيمتُهُ $599.5$ kPa بينما دُفِعَ المكبسُ إلى الداخلِ بحيث انخفضَ حجمُ الغازِ من $5.317 \times 10^{-4}$ m$^3$ إلى $2.523 \times 10^{-4}$ m$^3$. ما الشغلُ المبذول؟ أهو مبذولٌ بوساطةِ الغازِ أم عليه؟ وضِّحْ إجابتَك.
3. نُفِخَ بالونٌ لعبةٌ بغازِ الهيليوم عندَ ضغطٍ ثابتٍ مقدارُه $4.3 \times 10^5$ Pa. إذا ازدادَ حجمُ البالونِ من $1.8 \times 10^{-4}$ m$^3$ إلى $9.5 \times 10^{-4}$ m$^3$، فكم يكونُ الشغلُ الذي يبذلُهُ غازُ الهيليوم على البالون؟
4. ينتقلُ البخارُ إلى أسطوانةٍ في محرِّكٍ بخاريٍّ عندَ ضغطٍ ثابتٍ بحيثُ يبذلُ $0.84$ J من الشغلِ على المكبس. يبلغُ قطرُ المكبس $1.6$ cm، وهو يتحرَّكُ مسافةَ $2.1$ cm في الشوطِ الواحد. ما ضغطُ البخار؟

# عملياتُ الديناميكا الحرارية

في هذا القسمِ تمَّ الربطُ بين ثلاثِ كمّياتٍ مختلفةٍ بعضُها عن بعض، هي الطاقةُ الداخليةُ $U$، والحرارةُ $Q$، والشغل $W$. لكن لا يُشترَطُ ظهورُ كلٍّ منها في أيِّ عمليةٍ ديناميكيةٍ حرارية. يمكنُ بذلُ الشغلِ في بعضِ العملياتِ مع تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليةِ من دون تبادلِ الطاقةِ كحرارة. وفي حالاتٍ أخرى تتغيَّرُ الطاقةُ الداخليةُ عندَما يتمُّ تبادلُ الطاقةِ كحرارةٍ من دون بذلِ أيِّ شغل. إلا أن العملياتِ التي تشتملُ على تبادلٍ حراريٍّ فقط، أو على بذلِ شغلٍ فقط، هي نادرة. في معظمِ الحالاتِ يتمُّ تبادلُ الطاقةِ بين النظامِ ومحيطِهِ على شكلِ حرارةٍ وشغل. ويمكنُ وصفُ العملياتِ الحقيقيةِ كتقريبٍ لإحدى العملياتِ المثالية.

## عدمُ بذلِ الشغلِ في عملياتِ الحجمِ الثابت

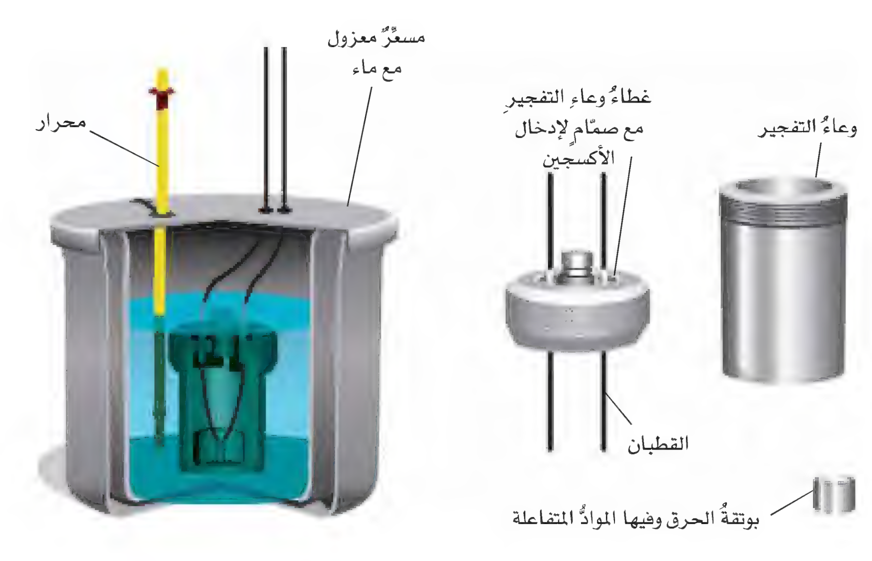
افترضْ أن سيارةً رُكِنَتْ في موقفِ سياراتٍ في يومٍ حارّ، وأبوابُها ونوافذُها مُغلقة. ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ للنظامِ (داخلَ السيارة) حيثُ تنتقلُ الطاقةُ إليها على شكلِ حرارةٍ بسببِ دخولِ الأشعّةِ الحراريّةِ الموجودةِ في أشعّةِ الشمسِ بعدَ اختراقِها زجاجَ السيّارة. يُحافظُ تصفيحُ السيارةِ الفولاذيُّ وزجاجُها المحكَمُ على حجمٍ ثابتٍ للسيارةِ تقريبًا. وعليهِ لا يُبذَلُ شغلٌ على النظام، لأن كلَّ التغيُّراتِ في الطاقةِ الداخليةِ للنظامِ ناتجةٌ من تبادلِ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ فقط.

بشكلٍ عام، عندَما تتغيَّرُ درجةُ حرارةِ غازٍ من دونِ تغيُّرٍ في حجمِه، لا يتمُّ بذلُ أيِّ شغلٍ على الغاز، ولا بوساطتِه. وكلُّ عمليةٍ كهذه تسمَّى **العمليةَ عندَ حجمٍ ثابتٍ** isovolumetric process.

وكمثالٍ آخرَ للعملياتِ عندَ حجمٍ ثابتٍ ندرسُ ما يحدثُ داخلَ المسعِّرِ التفجيريِّ، كما في **الشكل 4-15**. يتألَّفُ هذا الجهازُ من وعاءٍ سميكٍ يشتملُ على كمّيةٍ قليلةٍ من مادةٍ

**العملية عند حجم ثابت**

عمليةٌ ديناميكيةٌ حراريةٌ تتمُّ عندَ حجمٍ ثابتٍ ولا يتمُّ فيها أيُّ تبادلٍ للشغلِ مع النظام.




**الشكل 4-15**
يكونُ حجمُ المسعِّرِ التفجيريِّ ثابتًا تقريبًا، ويتمُّ تبادلُ الطاقةِ معه على شكلِ حرارة.

تتعرَّضُ لتفاعلٍ احتراقيّ. تؤدي الطاقةُ الناتجةُ من التفاعلِ إلى رفعِ ضغطِ الغازاتِ الناتجةِ ودرجةِ حرارتِها. ولأن جدرانَ الوعاءِ سميكةٌ لا ينتجُ أيُّ تغيُّرٍ ملحوظٍ في حجمِ الغاز. يمكنُ أن يتمَّ تبادلُ الطاقةِ مع الوعاءِ على شكلِ حرارةٍ فقط. وكما في حالةِ المسعِّرِ البسيط، في **القسم 4-2**، يزوِّدُنا الارتفاعُ في درجةِ حرارةِ المياهِ المحيطةِ بالمسعِّرِ التفجيريِّ بمعلوماتٍ لحسابِ الطاقةِ الكليةِ الناتجةِ عن التفاعل.

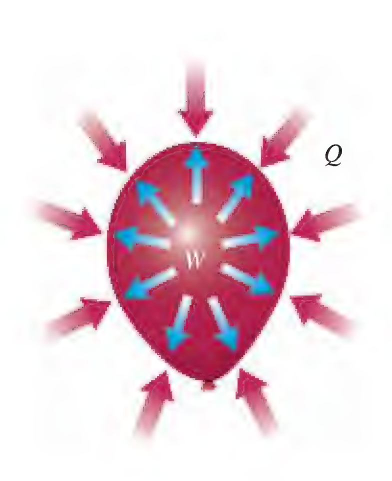
## ارتباطُ الطاقةِ الداخليةِ بدرجةِ الحرارة

**العمليةُ الأيزوثرمية**

عمليةٌ ديناميكيةٌ حراريةٌ تحدثُ عند درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ، وتبقى خلالها طاقةُ النظامِ الداخليةُ ثابتة.

قد تكونُ على اعتقادٍ بأن البالونَ اللعبةَ المنفوخَ نظامٌ ساكن، بينما هو يتعرَّضُ باستمرارٍ لتأثيراتٍ ديناميكيةٍ حرارية. تخيَّلْ ما يحدثُ للبالونِ خلال عاصفةٍ قادمة. قبل عدةِ ساعاتٍ من وصولِ العاصفةِ ينخفضُ الضغطُ الجويُّ بشكلٍ مطَّردٍ حوالي 2000 Pa. إذا كنتَ داخلَ المنزلِ حيث درجةُ الحرارةِ مضبوطة، فإن أي تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ الخارجِ لن يؤثِّرَ في درجةِ حرارةِ الداخل. لكن بما أن المبانيَ لا تكونُ معزولةً بشكلٍ تامّ، فإن تغيُّراتِ الضغطِ في الخارجِ تُنتِجُ تغيُّرًا في الداخلِ أيضًا.

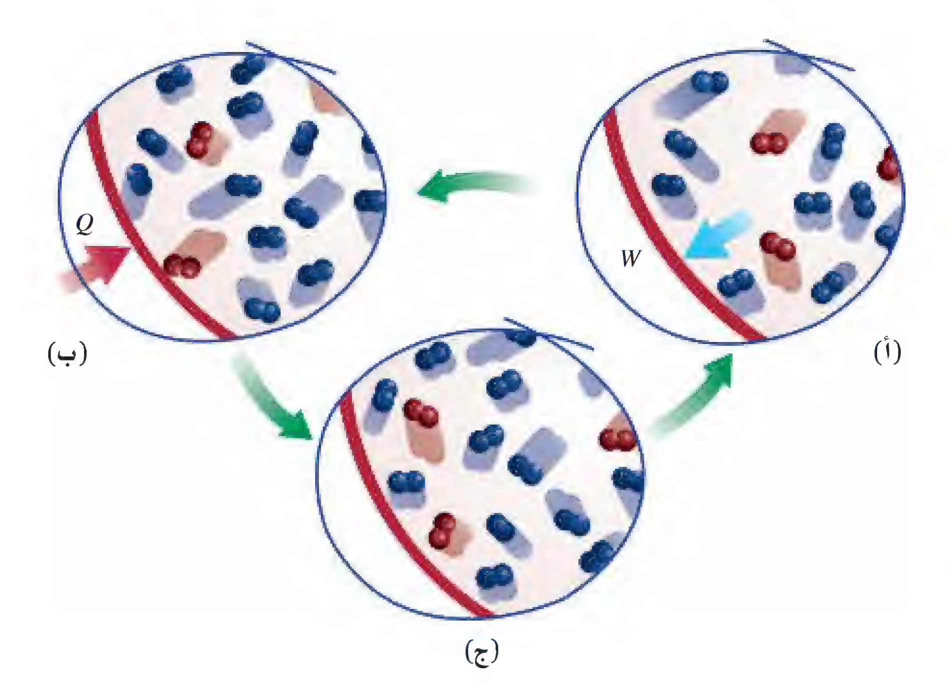
لدى انخفاضِ الضغطِ الجويِّ ببطءٍ داخلَ المبنى، يتمدَّدُ البالونُ ببطءٍ باذلاً شغلاً على الهواءِ خارجَ البالون. في الوقتِ نفسِهِ تتسرَّبُ الطاقةُ إلى البالونِ على شكلِ حرارة. وتكونُ محصِّلةُ هاتَينِ العمليَّتَينِ بقاءَ درجةِ حرارةِ الهواءِ داخل البالونِ مساويةً لدرجةِ حرارةِ الهواءِ خارجَه. وعليه فإن الطاقةَ الداخليةَ للهواءِ داخلَ البالونِ لا تتغيَّرُ، لأن الطاقةَ التي يبذُلُها البالونُ على شكلِ شغلٍ يُعوَّضُ عنها بالطاقةِ المتسرِّبةِ إليه كحرارة (انظر **الشكل 4-16**).




**الشكل 4-16**
يمكنُ تحقيقُ عمليةٍ أيزوثرمية (عند درجةِ حرارةٍ ثابتة) بشكلٍ تقريبيٍّ إذا تمَّ انتزاعُ الطاقةِ من نظامٍ على شكلِ شغلٍ وتمَّ التعويضُ عنها بكمّيةٍ مكافئةٍ من الطاقةِ تتسرَّبُ إليه كحرارة.

تُعتبَرُ هذه الطريقةُ تقريبًا جيّدًا لعمليةٍ أيزوثرمية (عندَ درجةِ حرارةٍ ثابتة). في كلِّ **عمليةٍ أيزوثرمية** isothermal process تبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً ولا يطرأُ أيُّ تغيُّرٍ على الطاقةِ الداخليةِ أثناءَ تبادلِ الطاقةِ مع النظامِ على شكلِ شغلٍ أو حرارة.

قد تَستغربُ إمكانيةَ انتقالِ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ من الهواءِ خارجَ البالونِ إلى الهواءِ داخلَهُ وهما على درجةِ الحرارةِ نفسِها. نحنُ نعلمُ أنه إذا لم يوجدْ اختلافٌ في درجةِ الحرارةِ لا يمكنُ أن يوجدَ تبادلٌ للطاقةِ كحرارة. لكن يمكنُ تبادلُ الطاقةِ كحرارةٍ إذا اعتبرْنا العمليةَ الإيزوثرميةَ مجموعةً كبيرةً من العملياتِ المتلاحقةِ التي تحققُّ تغيُّراتٍ بسيطةً، كما في **الشكل 4-17**.




**الشكل 4-17**
خلالَ عمليةٍ أيزوثرميةٍ للبالون، (أ) تنتقلُ كمّياتٌ قليلةٌ من الطاقةِ كشغلٍ من سطحِ البالونِ الذي ينتفخُ قليلاً نتيجةً لتمدُّدِ الغازِ. (ب) يمتصُّ الهواءُ داخلَ البالونِ الطاقةَ على شكلِ حرارة. (ج) يتحقَّقُ الاتّزانُ الحراريُّ بسرعة.

عندما يتمدَّدُ الغازُ داخلَ البالونِ تنخفضُ طاقتُهُ الداخليةُ ودرجةُ حرارتِهِ قليلاً. وبمجرَّدِ انخفاضِهِما، تنتقلُ الطاقةُ مباشرةً على شكلِ حرارةٍ من الهواءِ الخارجيِّ إلى الهواءِ داخل البالون. نتيجةً لذلك، ترتفعُ قيمةُ كلٍّ من الطاقةِ الداخليةِ ودرجةِ الحرارةِ للهواءِ داخل البالون إلى القيمةِ الأساسية. وبما أن الارتفاعَ والانخفاضَ يحدثانِ بسرعةٍ أكبرَ بكثيرٍ من العمليةِ الكاملةِ من تبادلِ الشغلِ والطاقة، تبقى الطاقةُ الداخليةُ للهواءِ داخلَ البالونِ ثابتةً من الناحيةِ العملية.

## هل تعلم؟

إن عدمَ حدوثِ تغيُّرٍ في الطاقةِ الداخليةِ خلال عمليةٍ أيزوثرميةٍ يصحُّ فقط في الأنظمةِ التي لا تتعرَّضُ لتغيُّرٍ في حالتِها. عند تغيُّرِ الحالة، كتحوُّلِ الماءِ إلى بخارٍ مثلاً، تبقى درجةُ الحرارةِ ثابتةً بينما ترتفعُ الطاقةُ الداخلية.

## العمليةُ الأدياباتيةُ (المكظومة) وعدمُ انتقالِ الحرارة

عندَما تُفتَحُ أسطوانةٌ فيها غازٌ مضغوطٌ لنفخِ بالونٍ لعبة، تحصُلُ عمليةُ النفخِ بسرعةٍ كبيرة، وذلك على غيرِ حالةِ الانتفاخِ التدريجيِّ للبالونِ في العمليةِ الأيزوثرميةِ السابقة. لا تبقى الطاقةُ الداخليةُ ثابتةً في حالةِ النفخِ السريع، لأن ضغطَ الغازِ في الأسطوانةِ ينخفضُ وتنخفضُ معه درجةُ الحرارةِ والطاقةُ الداخلية.

إذا كانَتِ الأسطوانةُ والبالونُ معزولَينِ حراريًّا لا يمكنُ تبادلُ الطاقةِ على شكلِ حرارةٍ مع الغازِ المتمدِّد، لأن العمليةَ تتمُّ بسرعةٍ كبيرةٍ لا توفِّرُ وقتًا كافيًا لتسرُّبِ الحرارة. وعندَما لا يتمُّ تبادلُ الطاقةِ مع النظامِ على شكلِ حرارة، تُسمَّى **العمليةُ أدياباتية** adiabatic process. لذلك يجبُ أن يكونَ الانخفاضُ في الطاقةِ الداخليةِ مساويًا للطاقةِ المتبادلةِ مع الغازِ على شكلِ شغل. يبذُلُ الغازُ هذا الشغلَ على الجدارِ الداخليِّ للبالون، فيعاكسُ بذلك الضغطَ المبذولَ بوساطةِ الهواءِ الخارجيِّ على البالون. نتيجةً لذلك ينتفخُ البالون، كما في **الشكل 4-18**.

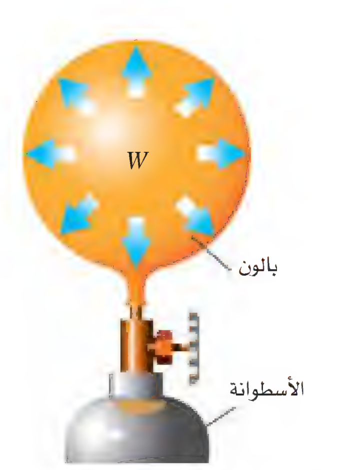
**العمليةُ الأدياباتية**

العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي يتمُّ فيها تبادلُ الطاقةِ بين النظامِ والوسطِ المحيطِ على شكلِ شغلٍ فقط، وليسَ على شكلِ حرارة.

لاحظْ أن التمددَ السريعَ للبالونِ في هذا المثالِ هو أحدُ العملياتِ الأدياباتيةِ التقريبية. هناك جزءٌ من تبادلِ الطاقةِ يكونُ في الحقيقةِ على شكلِ حرارة، لأن البالونَ والأسطوانةَ ليسا معزولَينِ حراريًّا بشكلٍ كامل. يترافقُ انخفاضُ الطاقةِ الداخليةِ ودرجةِ الحرارةِ للغازِ المتمدِّدِ بسرعةٍ مع انخفاضٍ سريعٍ في درجةِ حرارةِ السطحِ الخارجيِّ

للأسطوانةِ عندَ تسرُّبِ الغازِ المضغوطِ منها. ومع انتهاءِ التمدُّدِ الأدياباتيّ، ترتفعُ درجةُ حرارةِ الغازِ تدريجيًّا لدى انتقالِ الطاقةِ كحرارةٍ من الهواءِ الخارجيِّ إلى الأسطوانة.

يُستعملُ كلٌّ من التمدُّدِ والانضغاطِ الأدياباتيِّ للغازِ في العديدِ من التطبيقات. فالبراداتُ ومحرِّكاتُ الاحتراقِ الداخليّ، كما سترى في القسمِ الثاني، تتطلَّبُ انضغاطًا وتمدُّدًا سريعًا للغازات. ومع الافتراضِ أن العملياتِ الناتجةَ أدياباتية، يصيرُ ممكنًا التنبؤُ بطرقِ عملِ الآلات.




**الشكل 4-18**
مع التمدُّدِ السريعِ للغازِ بداخلِ الأسطوانةِ والبالون، تنخفضُ الطاقةُ الداخلية. تتسرَّبُ هذه الطاقةُ من النظامِ على شكلِ شغلٍ مبذولٍ على الهواءِ الخارجي.

## مراجعةُ القسم 4-3

1. في أيٍّ من الحالاتِ التاليةِ تنتقلُ الطاقةُ إلى النظامِ كحرارةٍ لتمكِّنَهُ من بذلِ شغل، وفي أيِّها يُبذَلُ الشغلُ على النظامِ لتنتقلَ الطاقةُ منه على شكلِ حرارة؟
   أ. حَكُّ عصًا بأُخرى كي تشتعلَ النار.
   ب. انفجارُ المفرقعاتِ النارية.
   ج. تركُ قضيبٍ حديديٍّ محمًّى ليبرد.

2. ما نوعُ العملياتِ التالية. أهي أيزوثرميةٌ، أم عندَ حجمٍ ثابتٍ، أم أدياباتية؟
   أ. نفخُ دولابٍ بسرعة.
   ب. نفخُ دولابٍ تدريجيًا عند درجة حرارة ثابتة.
   ج. تسخينُ وعاءٍ فولاذي يحتوي على غاز.

3. وُضِعَ خليطٌ من بخارِ الغازولين وهواءٍ في أسطوانةِ محرِّكٍ مساحةُ مقطعِها $7.4 \times 10^{-3}$ m$^2$. تمَّتْ إزاحةُ مكبسِ الأسطوانةِ إلى الداخلِ بمقدارِ $7.2 \times 10^{-2}$ m. إذا كان الضغطُ المبذولُ على المكبسِ $9.5 \times 10^{5}$ Pa، فما الشغلُ المبذولُ خلالَ العملية؟ هل بُذِلَ الشغلُ بوساطةِ الخليطِ الغازيِّ أم عليه؟

4. **الفيزياءُ في حياتِنا اليومية:** يتمدَّدُ بالونٌ لدراسةِ الطقسِ ببطءٍ لدى انتقالِ الطاقةِ إليهِ كحرارةٍ من الهواءِ الخارجي. إذا كان متوسِّطُ الضغطِ $1.5 \times 10^{3}$ Pa، والزيادةُ في حجمِ البالون $5.4 \times 10^{-5}$ m$^3$، فما الشغلُ المبذولُ بوساطةِ الغازِ المتمدِّد؟ أيُّ عمليةٍ ديناميكيةٍ حراريةٍ تمثِّلُ هذا الموقف؟

# ملخّصُ الفصل 4

## مصطلحاتٌ أساسية

**الاتزانُ الحراري**
(ص 78) Thermal equilibrium

**الحرارة** (ص 79) Heat

**الطاقةُ الداخلية** (ص 80) Internal energy

**السعةُ الحراريةُ النوعية**
(ص 85) Specific heat capacity

**قياسُ الحرارة** (ص 86) Calorimetry

**تغيُّراتُ الحالة** (ص 91) Phase changes

**حرارةُ الانصهار** (ص 92) Heat of fusion

**حرارةُ الغليان**
(ص 92) Heat of vaporization

**الحرارةُ الكامنة** (ص 92) Latent heat

**النظامُ الديناميكي الحراري**
(ص 98) Thermo dynamic System

**الوسطُ المحيط** (ص 98) Environment

**العمليةُ عند حجمٍ ثابت**
(ص 100) Isovolumetric

**العمليةُ الأيزوثرمية**
(ص 101) Isothermal process

**العمليةُ الأدياباتية**
(ص 102) Adiabatic process

### رموزُ الأشكال

الطاقةُ المتبادلةُ كحرارة

الطاقةُ المتبادلةُ كشغل

دورةٌ ديناميكيةٌ حرارية

## أفكارٌ أساسية

### القسمُ 4-1 درجةُ الحرارةِ والحرارة

- يمكنُ تغييرُ درجةِ الحرارةِ بنقلِ الحرارةِ من المادةِ أو إليها.
- الاتّزانُ الحراريُّ هو الحالةُ التي تكونُ فيها درجتا حرارةِ جسمين متلاصقين متساويتين.
- الحرارةُ هي الطاقةُ المنتقلةُ من جسمٍ على درجةِ حرارةٍ مرتفعةٍ إلى جسمٍ آخرَ على درجةِ حرارةٍ منخفضة.
- تكونُ الطاقةُ محفوظةً إذا تمَّ أخذُ كلٍّ من الطاقةِ الميكانيكيةِ والطاقةِ الداخليةِ في الاعتبار.

### القسمُ 4-2 التغيُّرُ في درجةِ الحرارةِ والحالة

- تُعرَّفُ السعةُ الحراريةُ النوعيَّةُ، وهي مقياسٌ للطاقةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ المادةِ درجة سيليزيةً واحدةً، بهذه العلاقة:

$$c_p = \frac{Q}{m\Delta T}$$

- تُعرَّفُ الحرارةُ الكامنة، وهي الطاقةُ اللازمةُ لتغييرِ وحدةِ الكتلِ من المادَّةِ من حالةٍ إلى أخرى، بهذه العلاقة:

$$L = \frac{Q}{m}$$

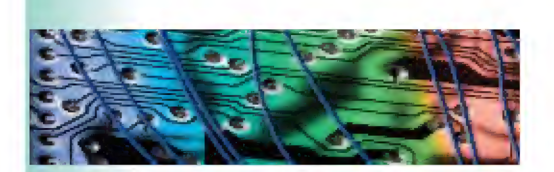
### القسمُ 4-3 علاقةُ الحرارةِ بالشغل

- يتشكَّلُ النظامُ من جسمٍ، أو من مجموعةِ أجسامٍ في حالةِ اتّزانٍ فيما بينها، ولها كمّيةُ مادَّةٍ غيرُ متغيِّرة، فيما يشكِّلُ كلُّ ما يحيطُ بالنظامِ الوسطَ المحيط.
- يمكنُ إعطاءُ الطاقةِ لنظامٍ أو أخذُها منه على شكلِ حرارةٍ أو شغلٍ أو كليْهما، ونتيجةً لهذه العمليةِ تتغيّرُ الطاقةُ الداخلية.
- يُعرَّفُ الشغلُ المبذولُ على غازٍ عندَ ضغطٍ ثابتٍ كحاصلِ ضربِ ضغطِ الغازِ في تغيُّرِ كمّيةِ حجمِه.

$$W = P\Delta V$$

### رموزُ المتغيِّرات

| الكميات | | الوحدات | | الكميات | | الوحدات | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_K$ | درجةُ الحرارة (كلفن) | K | كلفن | $Q$ | الحرارة | J | جول |
| $T_C$ | درجةُ الحرارة (سيليزية) | °C | درجة سيليزية | $c_p$ | السعةُ الحراريةُ النوعيةُ عندَ ضغطٍ ثابت | J / kg•°C | |
| $T_F$ | درجةُ الحرارة (فهرنهيت) | °F | درجة فهرنهيت | | | | |
| $\Delta U$ | التغيرُ في الطاقةِ الداخلية | J | جول | $L$ | الحرارةُ الكامنة | J / kg | |



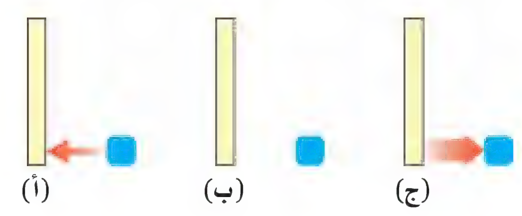
# مراجعةُ الفصل 4

## راجعْ وقيِّمْ

## درجةُ الحرارةِ والحرارة

### أسئلةُ مراجعة

1. ما العلاقةُ بين درجةِ الحرارةِ والطاقةِ الداخليةِ؟
2. عيِّن خاصةً لجسمَين تحدِّدُ أنهما في حالةِ اتّزانٍ حراريّ.
3. أيُّ حالةٍ في **الشكل 24-4** تظهرُ الاتّجاهَ الصحيحَ لانتقالِ الطاقةِ كحرارةٍ بين مكعَّبٍ من الثلجِ وجدارِ الثلاجةِ، إذا كانت درجةُ حرارةِ كلٍّ منهما $-10^{o}C$؟ اشرح.




**الشكل 24-4**

4. ماءٌ في كأسٍ درجةُ حرارتِه $8^{o}C$. في أيِّ حالةٍ يتمُّ تبادلٌ أكبرُ للطاقة، إذا كانَتْ درجةُ حرارةِ الهواءِ $25^{o}C$ أم $35^{o}C$؟
5. ما مقدارُ الطاقةِ المتبادلةِ بينَ قطعةٍ من الخبزِ وفرنٍ وهما على درجةِ الحرارةِ نفسِها $55^{o}C$؟ اشرحْ.

### أسئلةٌ حول المفاهيم

6. أيُّ جسمٍ في كلٍّ من الزوجَينِ التاليَينِ له طاقةٌ داخليةٌ أكبرُ، مع العلمِ أن درجةَ حرارةِ الجسمَينِ هي نفسُها في كلِّ زوجٍ؟ اشرحْ كلَّ حالة.
   أ. سكينٌ معدنيٌّ في حالةِ اتّزانٍ حراريٍّ مع صينيةِ الفرن
   ب. قالبٌ من الثلجِ كتلتُهُ 1 kg على درجةِ حرارةٍ $-25^{o}C$، و سبعُ قطعٍ من الثلجِ كتلةُ كلٍّ منها 12 g ودرجةُ حرارتِها $-25^{o}C$.
7. افترضْ أن كلَّ زوجٍ من الأجسامِ في السؤال 6 له الطاقةُ الداخليةُ نفسُها، بدلاً من درجةِ الحرارةِ نفسِها. فأيُّ جسمٍ في كلِّ زوجٍ يكونُ عندَ درجةِ حرارةٍ أعلى؟
8. لماذا تُعتبَرُ نُقطتا غليانِ الماءِ وانصهارِ الثلجِ أفضلَ من درجةِ حرارةِ جسمِ الانسانِ لضبطِ المحاريرِ؟
9. إذا قمْنا بتحريكِ الماءِ في وعاءٍ مغلقٍ ومعزول، أترتفعُ درجةُ حرارتِه، أم تنخفض، أم تبقى ثابتةً؟ اشرحْ إجابتَك.
10. آخذًا في الاعتبارِ إجابتَك عن السؤال 9، لماذا يؤدّي تحريكُ كوبٍ ساخنٍ من القهوةِ إلى تبريدِه؟
11. أُعطِيتَ جسمينِ مختلفَينِ، الجسمُ الذي درجةُ حرارتِهِ أعلى كمّيةُ حرارتِهِ أكبر. ما الخطأُ في هذا النصّ؟
12. اعتمدْ على النظريةِ الحركيةِ للذرّاتِ والجُزيئاتِ لتشرحَ سببَ انتقالِ الحرارةِ دائمًا من الأجسامِ ذاتِ درجاتِ الحرارةِ الأعلى إلى الأجسامِ ذاتِ درجاتِ الحرارةِ الأقلّ.
13. في أيٍّ من الموقفَينِ التاليَينِ يتمُّ تبادلٌ أكبرُ للحرارة؟ اشرحْ جوابَك.
   أ. كوبٌ من الشوكولاتةِ الحارّةِ درجةُ حرارتِهِ $40^{o}C$ داخلَ ثلاجةٍ درجةُ حرارتِها $-20^{o}C$.
   ب. كوبٌ من الشوكولاتةِ الحارّةِ على درجةِ حرارةِ $90^{o}C$ في غرفةٍ درجةُ حرارتِها $25^{o}C$.

### مسائلُ تطبيقية

14. أعلى درجاتِ الحرارةِ على سطحِ الأرضِ بلغتْ $136^{o}F$، وسُجِّلَ ذلك في منطقةِ العزيزيةِ في ليبيا سنة 1922. اكتبْ درجةَ الحرارةِ هذه وفقًا للمقياسَينِ السيليزيّ وكلفن.
15. تبلغُ درجةُ حرارةِ انصهارِ الذهبِ $1947^{o}F$. ضعْ هذه الدرجةَ وفقًا للمقياسَينِ السيليزيّ وكلفن.

**16.** طُبِّقتْ قوّةٌ مقدارُها 315 N أفقيًّا على قفصٍ خشبيٍّ إزاحتُه 35.0 m على أرضٍ مستويةٍ بسرعةٍ ثابتة. نتيجةً للشغلِ المبذولِ ترتفعُ الطاقةُ الداخليةُ بنسبةِ 14% من القيمةِ الابتدائيةِ للطاقةِ الداخليةِ للقفص. ما الطاقةُ الداخليةُ الابتدائيةُ للقفص؟ (انظرِ المثال 4 (أ))

**17.** تمَّ دفعُ مسمارٍ كتلتُهُ 0.75 kg في وصلةٍ لسكّةِ القطارِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 3.0 m/s.

أ. إذا امتصَّ المسمارُ والوصلةُ 85 % من طاقةِ حركةِ المسمارِ الابتدائية، فما الارتفاعُ في الطاقةِ الداخليةِ للمسمارِ والوصلة؟

ب. ماذا يحدثُ للطاقةِ المتبقية؟ (انظرِ المثال 4 (أ))

## التغيُّر في درجةِ الحرارةِ والحالة

### أسئلةُ مراجعة

**18.** ما البياناتُ التي نحتاجُ إليها لتحديدِ السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ لمادَّةٍ مجهولةٍ باستعمالِ قياسِ الحرارة؟

**19.** ما المبدأُ الذي يسمحُ باستعمالِ قياسِ الحرارةِ لتحديدِ السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للمادَّة؟ اشرحْ.

**20.** لماذا لا ترتفعُ درجةُ حرارةِ الثلجِ عندَ انصهارِهِ على الرغمِ من انتقالِ الطاقةِ إليه كحرارة؟

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**21.** لماذا يؤدّي تبخُّرُ الماءِ إلى برودةِ الهواءِ فوقَ سطحِ الماء؟

**22.** تبلغُ السَّعةُ الحراريةُ النوعيةُ للكحولِ الإثيلي نصفَ السَّعةِ الحراريةِ للماء. إذا تم تزويدُ كمّيتَينِ متساويتَينِ من الكحولِ والماء، في وعاءَينِ مختلفَينِ وعلى درجةِ الحرارةِ نفسِها، بالكمّيةِ نفسِها من الطاقة، فأيُّهما ستكونُ درجةُ حرارتِهِ أعلى؟

**23.** قبل اكتشافِ الثلاجاتِ كان العديدُ من الناسِ يخزنون الفواكهَ والخضَرَ في مخازنَ تحتَ الأرض. لماذا يعتبرُ ذلك أفضلَ من تركِها في الهواءِ الطلق؟

**24.** خلالَ فصلِ الشتاء، كانَ الناسُ (في السؤال 23) يضعونَ برميلاً مفتوحًا من الماءِ إلى جانبِ منتجاتِهم في مخازنَ تحتَ الأرض. اشرحْ لماذا، وما فاعليّةُ هذه الطريقة.

**25.** خلالَ الفتراتِ الباردةِ من السنة، يقومُ مزارعو البرتقالِ برشِّ أشجارِهم بالماءِ ليلاً. علامَ يساعدُ ذلك؟

**26.** استعملْ منحنى التسخينِ لعيِّنةٍ كتلتُها 23 g (انظرِ **الشكل 4-25**) لتقديرِ الخصائصِ التاليةِ للمادَّة:

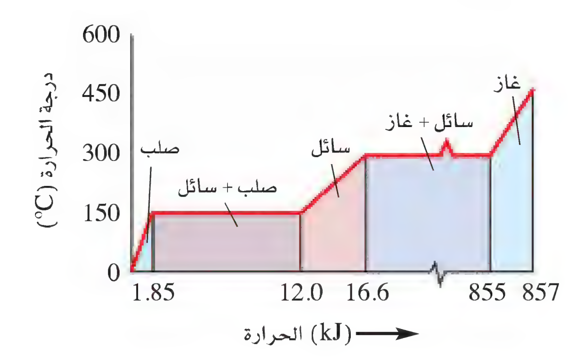
أ. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للسائل

ب. الحرارةِ الكامنةِ للانصهار

ج. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للصلب

د. السَّعةِ الحراريةِ النوعيةِ للبخار

هـ. الحرارةِ الكامنةِ للتبخير




**الشكل 4-25**

### مسائلُ تطبيقية

**27.** سُخِّنَ خاتمٌ من الفضَّةِ كتلتُه $2.55 \times 10^{-2}$ kg $(c_p = 234\ J/kg{\bullet}°C)$ إلى درجةِ حرارةِ 84.0°C، ثم أُلقِيَ في مسعِّرٍ يحتوي على ماءٍ كتلتُه $5.00 \times 10^{-2}$ kg من الماءِ على درجةِ حرارةِ 24.0°C. المسعِّرُ غيرُ معزولٍ بشكلٍ كامل، ممّا أدى إلى تسرُّبِ 0.140 kJ من الطاقةِ إلى الفضاءِ المجاورِ قبلَ الوصولِ إلى درجةِ الحرارةِ النهائية. ما درجةُ الحرارةِ النهائيةِ مع إغفالِ الحرارةِ التي يكتسبُها المسعِّر؟ (انظر المثال 4 (ب)).

**28.** عندَما يستعملُ السائقُ المكابحَ، يُحوِّلُ الاحتكاكُ بين الأسطواناتِ والوسادةِ بعضَ الطاقةِ الحركيةِ الانتقاليةِ للسيارةِ إلى طاقةٍ داخلية. إذا توقَّفَتْ سيارةٌ كتلتُها 1500 kg وسرعتُها 32 m/s بعدَ استعمالِ المكابحِ، فكم

ترتفعُ درجةُ الحرارةِ في كلٍّ من الأسطواناتِ الأربعِ إذا كانت كتلةُ كلٍّ منها $3.5\ kg$؟ مع العلم أن الأسطوانات مصنوعة من الحديد ($c_p = 448\ J/kg{\cdot}°C$)، وأن الطاقةَ الحركيةَ تُوزَّعُ بالتساوي كطاقةٍ داخليةٍ للعجلاتِ الأربع.
(انظر المثال 4 (ب).)

**29.** يُستعملُ وعاءٌ من البلاستيك الرغويّ كبرّادٍ للرحلاتِ، وهو يحتوي على قالبٍ من الثلجِ على درجةِ حرارةِ $0°C$. إذا انصهرَ $2.25 \times 10^{-1}\ kg$ من الثلج، فما مقدارُ الحرارةِ التي تكونُ قد انتقلَتْ من خلالِ جدرانِ الوعاءِ إلى الداخل؟
(انظر المثال 4 (ج).)

**30.** تحتوي أكبرُ البحيراتِ العُظمى في كندا على حوالي $1.20 \times 10^{16}\ kg$ من الماء. إذا كانت درجةُ حرارةِ البحيرةِ $12.0°C$ فما الطاقةُ اللازمُ إزالتُها لكي تتجمَّدَ البحيرةُ بكاملِها على درجةِ حرارة $0°C$؟ (انظرِ المثال 4 (ج).)

## الحرارةُ والشغلُ والطاقةُ الداخلية

### أسئلةُ مراجعة

**31.** عرِّفِ النظامَ الديناميكيَّ الحراريَّ ووسطَهُ المحيط.

**32.** ما الطريقتانِ اللتانِ يمكنُ بوساطتِهما رفعُ الطاقةِ الداخليةِ لنظام؟

**33.** أيُّ التعابيرِ التاليةِ وَحَداتُهُ مكافئةٌ لوحداتِ الشغل؟

أ. $mg$     د. $Fd$

ب. $\frac{1}{2}mv^2$     هـ. $P\Delta V$

ج. $mgh$     و. $V\Delta T$

**34.** أيُّ كمّيةٍ ديناميكيةٍ حرارية ($\Delta U$، $Q$، W) تكونُ قيمتُها صفرًا لكلٍّ مما يلي؟

أ. العمليةُ الأيزوثرمية

ب. العمليةُ الأدياباتية

ج. العمليةُ عندَ حجمٍ ثابت

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**35.** هل يمكنُ إضافةُ الطاقةِ إلى مادّةٍ أو أخذُها منها من دونِ أيِّ تغيُّرٍ في درجةِ حرارةِ المادّةِ أو حالتِها؟ اشرحْ إجابتك.

**36.** عندَما يتمدَّدُ الغازُ المثاليُّ أدياباتيًّا يقومُ ببذلِ شغلٍ على وسطِهِ المحيط. صِفْ كافّةَ تبادلاتِ الطاقةِ التي تحدث.

**37.** ادرُسْ في كلٍّ من الحالتَينِ التاليتَين، تبادلاتِ الطاقةِ (كحرارةٍ أو شغل) والتغيُّراتِ في الطاقةِ الداخلية

أ. حَفُّ كفٍّ بكفّ.

ب. حفرُ ثقبٍ في قالبٍ معدنيٍّ يتصاعدُ البخارُ منه عندَ وضعِ كمّيةٍ قليلةٍ من الماءِ مباشرةً في الثقب.

**38.** استعملْتَ علبةَ رذاذٍ لرشِّ الدهانِ لمدةِ $30\ s$. كانتِ العلبةُ على درجةِ حرارةِ الغرفة، إلا أن درجةَ حرارتِها انخفضتْ بعد الرشّ. ما العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي تتعرَّضُ لها كميةٌ قليلةٌ من الغازِ لدى خروجِها من منطقةِ الضغطِ المرتفعِ داخلَ العلبةِ إلى الفضاءِ الخارجيّ؟

**39.** وضعْتَ علبةَ رشِّ الدهانِ في السؤال 38 جانبًا لمدَّةِ ساعة. عادَتِ العلبةُ خلالَ هذه الفترةِ إلى درجةِ حرارةِ الغرفة. أيٌّ من أنواعِ عملياتِ الديناميكا الحراريةِ حدثَ خلالَ هذه الفترةِ من عدمِ استعمالِ العلبة؟

### مسائلُ تطبيقية

**40.** ما الشغلُ المبذولُ ليزيدَ حجمُ دولابٍ من $35.25 \times 10^{-3}\ m^3$ إلى $39.47 \times 10^{-3}\ m^3$ تحت ضغطٍ يزيدُ مقدارُه $2.55 \times 10^5\ Pa$ عن الضغطِ الجوي؟ هل بُذِلَ الشغلُ بوساطةِ الغازِ أم عليه؟ (انظرِ المثال 4 (د).)

**41.** يبذُلُ غازُ الهيليوم في بالونِ لعبةٍ شغلاً على محيطِه لدى تمدُّدِهِ عندَ ضغطٍ مقدارُه $2.52 \times 10^5\ Pa$. الحجمُ الابتدائيُّ للبالون $1.10 \times 10^{-4}\ m^3$ وحجمُهُ النهائيُّ $1.50 \times 10^{-3}\ m^3$. استعملْ هذه البياناتِ لحسابِ الشغلِ المبذولِ بوساطةِ الغاز.
(انظرِ المثال 4 (د).)

## مراجعةٌ عامَّة

**42.** تُعرَّفُ درجةُ حرارةِ الصفرِ المطلقِ على مقياسِ رانكين وفقًا لـ $T_R = 0^oR$، في حين أنَّ وحدةَ قياسِها هي وحدةُ قياسِ فهرنهيت نفسُها.

أ. ضعْ علاقةً تربطُ بين مقياسِ رانكين ومقياسِ فهرنهيت.

ب. ضعْ علاقةً تربطُ بين مقياسِ رانكين ومقياسِ كلفن.

**43.** يستقرُّ حجرٌ كتلتُه 3.0 kg عندَ قمَّةِ جرف. افترضْ أن الحجرَ سقطَ في البحرِ عندَ أسفلِ الجرف، وأن طاقةَ حركتِهِ الكلّيةَ قد أُعطيَتْ للماء. ما مدى ارتفاعِ الجرفِ إذا ارتفعَتْ درجةُ حرارةِ 1.0 kg من الماء $0.10^oC$؟

**44.** حوِّلْ درجتَي الحرارةِ التاليتَين إلى كلٍّ من مقياسَيْ فهرنهيت وكلفن.

أ. درجةُ حرارةِ غليانِ الهيدروجين السائل $(-252.87^oC)$

ب. درجةُ حرارةِ الغرفةِ التي تبلغُ $20.5^oC$

**45.** أثبتْ أن درجةَ الحرارةِ $-40^o$ لها القيمةُ نفسُها وفقًا لكلٍّ من المقياسَين السيليزيّ وفهرنهيت.

**46.** يعملُ سخّانُ مياهٍ على الطاقةِ الشمسية. إذا كانَتْ مساحةُ السخّانِ $6.0\ m^2$ وقدرةُ ضوءِ الشمس $550\ W/m^2$، فكم يلزمُ من الوقتِ لرفعِ درجةِ حرارةِ $1.0\ m^3$ من الماءِ من $21^oC$ إلى $61^oC$؟

**47.** يرمي متعلِّمٌ جسمَين في وعاءٍ من الفولاذِ كتلتُهُ 120 g ويحتوي على 150 g من الماءِ على درجةِ حرارة $25^oC$. الجسمُ الأولُ مكعَّبٌ نحاسيٌّ كتلتُهُ 253 g ودرجةُ حرارتِهِ الابتدائية $85^oC$، والثاني قطعةٌ من الألمنيوم درجةُ حرارتِها الابتدائيةُ $5^oC$. تفاجأ المتعلِّمُ عندَما لاحظَ أن درجةَ الحرارةِ النهائيةَ كانت $25^oC$ وهي درجةُ الحرارةِ الابتدائيةُ للماء. ما كتلةُ قطعةِ الألمنيوم؟

**48.** يحتوي كوبٌ من الألمنيوم كتلتُهُ 250 g على 850 g من الماء درجةُ حرارتِها $83^oC$. تمَّ تبريدُ الكوبِ والماءِ بانتظام، وبمعدَّل $1.5^oC$ كلَّ دقيقة. ما معدَّلُ انتقالِ الحرارةِ منهما؟

**49.** وُضِعَ إبريقٌ يحتوي على 180 g من الشايِ تحتَ أشعةِ الشمسِ إلى أن أصبحتْ درجةُ حرارتِهِ $32^oC$. في محاولةٍ لتبريدِ الشاي، أُسقِطتْ فيه قطعةُ ثلجٍ كتلتُها 112 g ودرجةُ حرارتِها $0^oC$. احسُبْ كتلةَ الثلجِ المتبقّي في الإبريقِ حالما تصيرُ درجةُ حرارةِ الشايِ $15^oC$. افترضْ أن السَّعةَ الحراريةَ النوعيةَ للشايِ مساويةٌ لسَعةِ الماء.

## تقويمُ الأداء

1. يعتقدُ أحدُ مقدِّمِي برامجِ الطبخِ التلفزيونيةِ بإمكانيَّةِ اختصارِ وقتِ طهيِ البطاطا بشكلٍ ملحوظٍ إذا أدخلْتَ مسمارًا في كلِّ حبة منها. تحقَّقْ مما إذا كان لهذا الاعتقادِ أساسٌ علميّ. أليسَ من الأفضلِ لفُّ قطعِ البطاطا برقائقِ الألمنيوم؟ اذكرِ الحُججَ واذكرْ نِقاطَ قوَّتِها ونقاطَ ضعفِها.

2. يسمَّى منحنى انخفاضِ درجةِ الحرارةِ لجسمٍ حارٍّ بالنسبةِ إلى الزمن: منحنى التبريد. صمِّمْ تجربةً ونفذْها لتحديدِ منحنى تبريدِ الماءِ في أوعيةٍ تختلفُ موادُّها وأشكالُها. ارسمْ منحنى التبريدِ لكلٍّ منها. أيُّ الرسومِ تمثِّلُ عزلاً جيدًا؟ استعملْ نتائجَكَ ومنحنياتِكَ لتصميمِ صندوقِ طعامٍ يحفظُ الأكلَ حارًّا أو باردًا.

3. تحدَّثْ إلى شخصٍ يعملُ في مجالِ التكييفِ أو الثلاجات، واسألْهُ عن الموائعِ المستعملةِ في هذه الأجهزة. ما الخصائصُ التي يجبُ أن تتوفَّرَ في مائعِ التبريد؟ ابحثْ عن استعمالاتِ الفريونِ ومكوناتِه. لماذا يُحظَرُ استعمالُ الفريون في المعاهداتِ الدولية؟ ما الموائعُ المستعملةُ اليومَ في الثلاجاتِ وفي مكيّفاتِ السيارات؟ وإلى أيِّ مدًى من درجاتِ الحرارةِ يمكنُ استعمالُ هذه الموائع؟ ما إيجابياتُ وسلبياتُ استعمالِ كلٍّ من هذه الموائع؟ لخِّصْ بحثَكَ على شكلِ تقرير.

## تقويمُ الملفّ

4. اجمعْ معلوماتٍ حولَ سخّاناتِ الطاقةِ الشمسيةِ العاملةِ في المنطقةِ التي تعيشُ فيها. كيف يعملُ كلُّ نوعٍ منها؟ قارنْ بين أسعارِ سخّاناتِ الطاقةِ الشمسيةِ وكلفةِ تشغيلِها ونظيرِ ذلك لدى السخّاناتِ التي تعملُ على الغاز. ما الإيجابياتُ وما الإشكالاتُ لدى سخّاناتِ الطاقةِ الشمسية؟ قُمْ بإعدادِ كرّاسةِ معلوماتٍ لتوزيعِها على أصحابِ المساكنِ المهتمّينَ بهذه التقنية.

5. ابحثْ عن الطريقةِ التي يتمكَّنُ بها العلماءُ من قياسِ درجةِ حرارةِ الأجسامِ التالية: الشمس، لهبِ الشمعةِ، البركان، الفضاءِ الخارجيِّ، النيتروجينِ السائل، الفئران، الحشرات. تعرَّف إلى الأجهزةِ المستعملةِ في كلِّ حالة، وبيِّن كيف يتمُّ ضبطُها وفقًا لدرجاتِ حرارةٍ معروفة. استعملْ ما تعلمتَه، وقمْ بإعدادِ لائحةٍ تذكرُ فيها الأدواتِ المستعملةَ لقياسِ درجةِ الحرارةِ وقيودَ ضبطِ المدى المطلوبِ لهذه الدرجات.

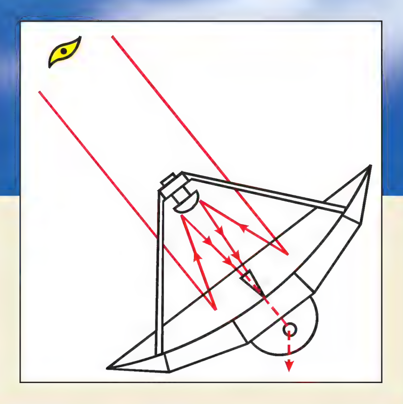


# الفصل 5

# الضوءُ والانعكاسُ

# *Light and Reflection*





يتكوّنُ نظامُ الهوائيّاتِ الضخمِ، القريبُ من سوكورو في منطقةِ نيومكسيكو في الولاياتِ المتَّحدةِ الأميركيَّةِ، من 27 هوائيًّا، قطرُ كلٍّ منها 25 m. تلتقطُ هذه الهوائيّاتُ الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيَّةَ في منطقتَي الموجاتِ اللاسلكيَّةِ والميكروويف. يعكسُ طبقُ التلسكوبِ الموجاتِ اللاسلكيَّةَ ويركِّزُ الأشعَّةَ عندَ مُستقبِلٍ مثبَّتٍ فوقَ الطبقِ.

## ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستتعرَّفُ في هذا الفصل خصائصَ الضوءِ والأشكالَ الأخرى من الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ. وستتعلَّمُ كيفَ تعكسُ المرايا المستوية والكرويَّةُ الضوءَ، وتكوِّنُ صُورًا حقيقيَّةً أو ظاهريَّة (خياليَّة) للأجسام.

## ما أهمّيّتُهُ

للمرايا تطبيقاتٌ عندَ العلماءِ وفي الاستعمالاتِ اليوميَّةِ. مثلاً، يُستعملُ في التلسكوبِ العاكسِ مرآتان لتجميعِ الضوءِ وتركيزِه، وانعكاسِه عندَ العينيَّةِ. هذا التلسكوبُ لايزالُ روّادُ الفضاءِ يستعملونه، على الرغمِ من انقضاءِ 300 عامٍ على اختراعِه.

## محتوى الفصل 5




# خصائصُ الضوءِ
# *Characteristics of Light*

## 1-5 مؤشّراتُ الأداءِ

- يحدِّدُ مكوِّناتِ الطيفِ الكهرومغنطيسيِّ.
- يحسبُ الترددَ والطولَ الموجيَّ للإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ.
- يتعرَّفُ أن للضوءِ سرعةً محدَّدةً.
- يصفُ كيف يتأثَّرُ سطوعُ المصدرِ الضوئيِّ بالمسافةِ.

## الموجاتُ الكهرومغنطيسيَّةُ

سندرسُ لاحقًا تفاصيلَ الاهتزازاتِ والموجاتِ، إلاّ أنّنا نقدِّمُ الآنَ مُختصرًا لخصائصِ الموجاتِ، وبخاصَّةٍ ما نحتاجُ إليه منها، في دراسةِ الضوءِ والظواهرِ الضوئيَّةِ. يسبِّبُ أيُّ اهتزازٍ في وسطٍ معيَّنٍ موجةً تنتقلُ في هذا الوسطِ. فعندما تصرخُ في مكانٍ ما، تنتقلُ اهتزازاتُ صوتِكَ عبرَ موجةٍ صوتيَّةٍ إلى أُذنِ المستمعِ. كذلك إذا ضرَبْتَ وترَ آلةٍ موسيقيَّةٍ كالعودِ، فإنَّ الاهتزازةَ تنتقلُ على شكلِ موجةٍ في وترِ العودِ. تنتقلُ الموجاتُ في كلِّ وسطٍ بسرعةٍ معيَّنةٍ تعتمدُ على خصائصِ الوسطِ ولا تعتمدُ على شكلِ الموجةِ.

كلُّ موجةٍ تنتقلُ في وسطٍ معيَّنٍ هي حركةٌ دوريَّةٌ تُعيدُ نفسَها بفتراتٍ زمنيَّةٍ متساويةٍ، يُسمّى كلٌّ منها زمنًا دوريًّا $T$ يُقاسُ بالثواني (**الشكل 1-5**). كذلك نعرِّفُ الترددَ الموجيَّ $f$ بعددِ الدوراتِ (الذبذبات) التي تقطعُها الموجةُ في الثانيةِ الواحدةِ، وهو بذلك معكوسُ الزمنِ الدوريِّ، أي:

$$f = \frac{1}{T}$$

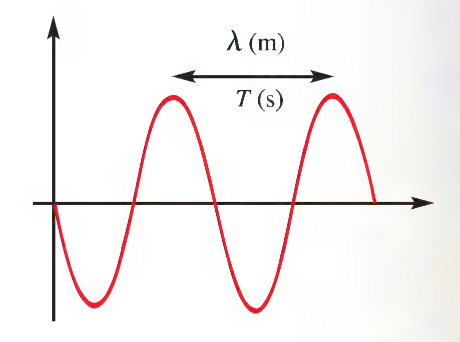
يُقاسُ الترددُ بـ $1/s$ أو $Hz$.

**الموجةُ الكهرومغنطيسيَّةُ**

موجةٌ مؤلَّفةٌ من مجالَيْن مهتزَّيْن متعامدَيْن أحدُهما كهربائيٌّ والآخرُ مغناطيسيٌّ، تشعُّ من مصدرٍ معيَّنٍ بسرعةِ الضوءِ.

الموجاتُ الكهرومغنطيسيَّةُ هي أحدُ أنواعِ الموجاتِ. الضوءُ هو الجزءُ المرئيُّ من تلك الموجاتِ، وهناك أنواعٌ من الأشعَّةِ لا تُرى بالعينِ، فإذا استعملتَ بعضَ أنواعِ الأفلامِ الفوتوغرافيَّةِ لتفحصَ الضوءَ المشتَّتَ من خلالِ موشورٍ، تلاحظُ أن الفيلمَ يسجِّلُ نطاقًا من الطيفِ يتعدّى النطاقَ المرئيَّ. تشتركُ أنواعٌ متعدِّدةٌ من الإشعاعاتِ، كأشعَّةِ X والموجاتِ الدقيقةِ والموجاتِ الراديويَّةِ مع الضوءِ في خصائصَ كثيرةٍ، والسببُ هو أن كلَّ تلك الإشعاعاتِ **موجاتٌ كهرومغنطيسيَّةٌ** electromagnetic waves.

يُوصفُ الضوءُ بأنه دقائقُ أو موجاتٌ أو تركيبٌ من النموذجَيْن. وبالرغمِ من أن النموذجَ الحاليَّ يدمجُ النظريَّتَيْن، الدقائقيَّة والموجيَّة، فالنموذجُ الموجيُّ أكثرُ تلاؤمًا مع بعضِ الظواهرِ الضوئيَّةِ، وهو ما سنستعمله في هذا القسمِ.




**الشكل 1-5**

تسمّى المسافةُ التي تقطعُها الموجةُ خلالَ زمنٍ دوريٍّ بالطولِ الموجيِّ $\lambda$، وهو يُقاسُ بالأمتارِ m.

### تباينُ الموجاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ باختلافِ الترددِ والطولِ الموجيِّ

تقولُ النظريَّةُ الكهرومغنطيسيَّةُ الموجيَّةُ الكلاسيكيَّةُ بأن الضوءَ موجةٌ مؤلَّفةٌ من مجالَيْن مهتزَّيْن أحدُهما كهربائيٌّ والثاني مغناطيسيٌّ، وهذانِ المجالانِ يتعامدانِ مع اتِّجاهِ انتشارِ الموجةِ، كما في **الشكل 2-5**، وهذا يعني أن الموجاتِ الكهرومغنطيسيَّةَ موجاتٌ مستعرضةٌ. كما أن المجالَيْن الكهربائيَّ والمغناطيسيَّ متعامدان. تصنَّفُ الموجاتُ الكهرومغنطيسيَّةُ وفقَ تردداتها وأطوالِها الموجيَّةِ المختلفةِ، ففي النطاقِ المرئيِّ تختصُّ الترددّاتُ المختلفةُ والأطوالُ الموجيَّةُ المختلفةُ بالألوانِ المختلفةِ، كما يميِّزُ الاختلافُ في الترددِ والطولِ الموجيِّ الضوءَ المرئيَّ من الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ الأخرى، كأشعَّةِ X.

يوضحُ **الجدولُ 1-5** أنواعًا مختلفةً من الموجاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ. لاحظِ المدى الواسعَ من الأطوالِ الموجيَّةِ والترددّاتِ. بالرغم من أن الجدولَ يُظهرُ نطاقاتٍ محدَّدةً

الجدول 1-5 **طيفُ الأمواجِ الكهرومغنطيسيَّةِ**

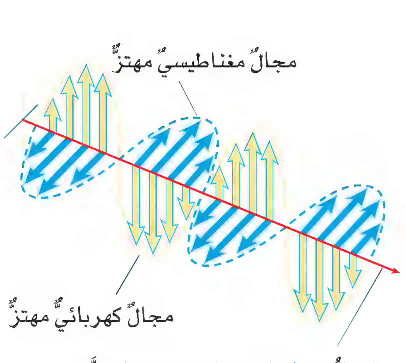
| اسمُ الأمواج | المدى | التطبيقات |
|---|---|---|
| الموجاتُ اللاسلكيَّةُ (الراديويّة) | $\lambda > 30$ cm<br>$f < 1.0 \times 10^{9}$ Hz | موجاتُ الراديو AM و FM، والموجاتُ التلفزيونيَّةُ. |
| موجاتُ الميكروويف (الموجات الدقيقة) | $30$ cm $> \lambda > 1$ mm<br>$1.0 \times 10^{9}$ Hz $< f < 3.0 \times 10^{11}$ Hz | الرادارُ، والأبحاثُ الذرّيَّةُ والجزيئيَّةُ، والملاحةُ الجويَّةُ، وأفرانُ الموجاتِ الدقيقة (الميكروويف). |
| الموجاتُ تحتَ الحمراءِ (IR) | $1$ mm $> \lambda > 700$ nm<br>$3.0 \times 10^{11}$ Hz $< f < 4.3 \times 10^{14}$ Hz | الأطيافُ الجزيئيَّةُ الاهتزازيَّةُ، والتصويرُ الفوتوغرافيُّ (التصوير الليلي) بالأشعَّةِ تحتَ الحمراءِ، والعلاجُ الفيزيائيُّ. |
| الضوءُ المرئيُّ | $700$ nm(الأحمر) $> \lambda > 400$ nm(البنفسجي)<br>$4.3 \times 10^{14}$ Hz $< f < 7.5 \times 10^{14}$ Hz | التصويرُ الفوتوغرافيُّ بالأشعَّةِ المرئيَّةِ، والمجهرُ الضوئيُّ، وعلمُ الفلكِ البصريِّ. |
| الأشعةُ فوقَ البنفسجيَّةِ (UV) | $400$ nm $> \lambda > 60$ nm<br>$7.5 \times 10^{14}$ Hz $< f < 5.0 \times 10^{15}$ Hz | تعقيمُ الأجهزةِ الطبيَّةِ، وتمييزُ المعادنِ المفلورة. |
| أشعَّةُ $X$ | $60$ nm $> \lambda > 10^{-4}$ nm<br>$5.0 \times 10^{15}$ Hz $< f < 3.0 \times 10^{21}$ Hz | الفحصُ الطبيُّ للعظامِ والأسنانِ والأنسجةِ المهمَّةِ، ومعالجةُ أنواعٍ من الأورامِ السرطانيَّةِ. |
| أشعَّةُ جاما | $0.1$ nm $> \lambda > 10^{-5}$ nm<br>$3.0 \times 10^{18}$ Hz $< f < 3.0 \times 10^{22}$ Hz | دراسةُ التشقُّقاتِ في تركيباتِ الموادِّ السميكةِ، ومعالجةُ الأمراضِ السرطانيَّةِ، وتعريضُ الأطعمةِ للإشعاعات. |

من الطيفِ، فالطيفُ الكهرومغنطيسيُّ هو طيفٌ متواصلٌ، وليسَ هناكَ حدودٌ واضحةٌ وقاطعةٌ بين نوعٍ من الموجاتِ ونوعٍ آخرَ، بل هناك تداخلٌ بين مدى أنواعٍ من الموجات.

## سرعةُ الموجاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ

تنتقلُ كلُّ أنواعِ الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيَّةِ بسرعةٍ عاليةٍ واحدةٍ في الفراغِ هي سرعةُ الضوءِ. وقد فشلتِ المحاولاتُ الأولى لقياسِ سرعةِ الضوءِ بالنظرِ إلى عِظَمِ هذه السرعة. ومع تطوُّرِ الوسائلِ التقنيَّةِ، خصوصًا في القرنِ التاسعَ عشرَ ومطلعِ القرنِ العشرين، تمَّ قياسُ سرعةِ الضوءِ بدقَّةٍ عاليةٍ، وصلَتْ نسبةُ الخطأ فيها إلى ما دون $0.001\%$ في منتصفِ القرنِ العشرين. والقيمةُ المعروفةُ حاليًّا لسرعةِ الضوءِ هي $2.997\ 924\ 58 \times 10^{8}$ m/s. وينتقلُ في الهواءِ بسرعةٍ أقلَّ قليلاً، إذ تبلغُ $2.997\ 09 \times 10^{8}$ m/s. واعتمدْنا في هذا الكتابِ السرعةَ نفسَها للضوءِ $3.00 \times 10^{8}$ m/s في الفراغِ وفي الهواءِ.

العلاقةُ التي تربطُ بينَ الترددِ والطولِ الموجيِّ والسرعةِ، تصحُّ أيضًا في الموجاتِ الضوئيَّةِ.




**الشكل 2-5**
تتألَّفُ الموجةُ الكهرومغنطيسيَّةُ من مجالَيْن متعامدَيْن، كهربائيٍّ ومغناطيسيٍّ.

**معادلةُ سرعةِ الموجةِ**

$$c = f\lambda$$

**سرعةُ الضوء = الترددُ × الطول الموجي**

## مثال 5 (أ)

**المسألة**

**الموجاتُ الكهرومغنطيسيَّةُ**

**يقعُ مدى موجاتِ AM للراديو بين $5.4 \times 10^5$ Hz و $1.7 \times 10^6$ Hz.**
**ما أكبرُ طولٍ موجيٍّ في مدى الترددِ هذا؟ وما أصغرُ طولٍ موجيٍّ؟**

**الحــلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $f_1 = 5.4 \times 10^5$ Hz $\quad f_2 = 1.7 \times 10^6$ Hz $\quad c = 3.00 \times 10^8$ m/s

**المجهول:** $\lambda_1 = ?$ $\quad \lambda_2 = ?$

**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ سرعةِ الموجةِ، لإيجادِ الطولَيْن الموجيَّيْن:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad c = f\lambda$$

**3. أحسب**

أكبرُ طولٍ موجيٍّ $\lambda_1 = \dfrac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.4 \times 10^5 \text{ Hz}}$

$$\boxed{\lambda_1 = 5.6 \times 10^2 \text{ m}}$$

أصغرُ طولٍ موجيٍّ $\lambda_2 = \dfrac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.7 \times 10^6 \text{ Hz}}$

$$\boxed{\lambda_2 = 1.8 \times 10^2 \text{ m}}$$

**جوابُ الآلةِ الحاسبةِ**

بالرغم من أن إجابتَي الآلةِ الحاسبةِ هما 555.5555556 m و 176.470588 m، فلا بُدَّ أن تُقرَّبا إلى رقمَيْن معنويَّيْن فقط، لأن للتردُّدِ رقمَين معنويَّيْن فقط.

**4. أُقيِّم**

إن الطولَ الموجيَّ يتناسبُ عكسيًّا مع التردُّدِ، إذا كانَتْ سرعةُ الموجةِ ثابتة.

## تطبيق 5 (أ)

**الموجاتُ الكهرومغنطيسيَّةُ**

**1.** مصدرُ أشعَّةِ جاما أجسامٌ كونيَّةٌ تُطلقُ ومضاتٍ من أشعَّةِ جاما ذاتِ الطاقةِ المرتفعة. إذا بلغَ تردُّدُ الومضاتِ ذاتِ الطاقةِ المرتفعةِ $3.0 \times 10^{21}$ Hz، فما الطولُ الموجيُّ لتلك الأشعَّة؟

**2.** ما مدى الطولِ الموجيِّ لمدى موجةِ FM (88 MHz – 108 MHz)؟

**3.** تبثُّ موجاتُ الراديو القصيرةُ بين التردُّدَيْن 3.50 MHz و 29.7 MHz. ما مدى الطولِ الموجيِّ لهذا المدى؟ لماذا، في رأيك، يُسمّى هذا الجزءُ من الطيفِ موجاتِ الراديو (اللاسلكي) القصيرة؟

**4.** ما تردُّدُ موجةٍ كهرومغنطيسيَّةٍ إذا كانَ طولُها الموجيُّ 1.0 km؟

**5.** جزءُ الطيفِ المرئيِّ الأكثرُ سطوعًا للعينِ له طولٌ موجيٌّ 560 nm تقريبًا، ويعبِّرُ عن اللونَيْن الأصفرِ والأخضر. ما تردُّدُ هذا الضوءِ؟

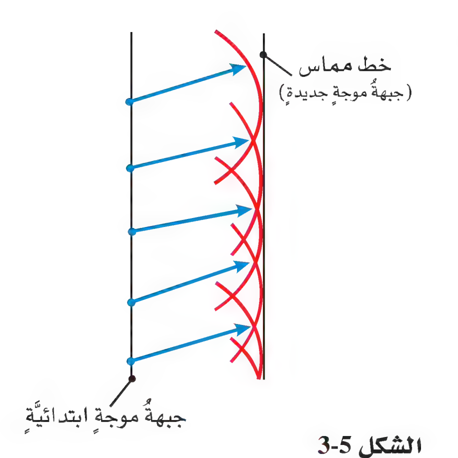
**6.** ما تردُّدُ الأشعةِ فوقَ البنفسجيَّةِ ذاتِ الطاقةِ المرتفعةِ والطولِ الموجيِّ 125 nm؟

## تمثيلُ الموجاتِ بأشعَّةٍ

افترضْ موجةً بحريَّةً تقتربُ من الشاطئ، تتألَّفُ قممُها، التي تتعامدُ مع اتِّجاهِ انتقالِ الموجةِ، من خطٍّ من دقائقِ الماءِ. وبالمثلِ يشكِّلُ خطٌّ آخرُ من دقائقِ الماءِ قاعًا منخفضًا من الماءِ، يليه خطٌّ آخرُ يشكِّلُ قمةً ثانيةً، وتُسمّى هذه الخطوطُ، في أيِّ نوعٍ من الموجاتِ، *جبهاتِ الموجاتِ*.

تُعدُّ كلُّ النقاطِ الواقعةِ على جبهةِ موجةٍ مستويةٍ مصادرَ نقطيَّةٍ تنطلقُ من مصدرٍ مهملِ الحجمِ. وتظهرُ بعضُ هذهِ النقاطِ على جبهةِ الموجةِ الابتدائيَّةِ في **الشكل 5-3**. تُنتِجُ

كلٌّ من هذه المصادرِ موجةً ثانويَّةً دائريَّةً أو كرويَّةً تُسمّى الموجاتِ الثانويَّةَ. تُظهرُ الأسهمُ الزرقاءُ في **الشكل 3-5** نصفَ قطرِ تلك الموجاتِ الثانويَّة. كما يمثِّلُ المماسُّ لتلك الموجاتِ، عندَ زمنٍ لاحقٍ، الموقعَ الجديدَ لجبهةِ الموجةِ الابتدائيَّةِ (جبهةُ الموجةِ الجديدةِ في **الشكل 3-5**). يُسمّى هذا التمثيلُ لتكوينِ موجاتٍ جديدةٍ مبدأ *هايغنز*، تكريمًا للفيزيائيِّ كريستيان هايغنز.



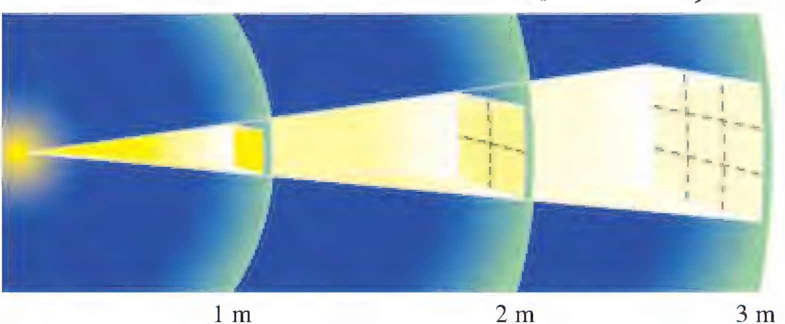

**الشكل 3-5**
يمكنُ وفقَ مبدأ هايغنز، تقسيمُ جبهةِ الموجةِ إلى مصادرَ نقطيَّةٍ. يمثِّلُ مماسُّ الموجاتِ الصادرةِ عن تلك المصادرِ موقعًا جديدًا لجبهةِ موجةٍ أخرى.

يُستعملُ مبدأُ هايغنز لاشتقاقِ خصائصِ أيِّ موجةٍ (بما فيها الموجاتُ الضوئيَّةُ) تتفاعلُ مع المادةِ. ويمكن الحصولُ على النتائجِ نفسِها إذا افترضْنا أن الموجة تنتقلُ في خطوطٍ مستقيمةٍ ومتعامدةٍ مع جبهاتِ الموجاتِ، ويُسمّى هذا الخطُّ *شعاعًا*، كما يُسمّى هذا التبسيطُ *التمثيلَ الشعاعيَّ*.

## تناقصُ الإضاءةِ مع مربَّعِ المسافةِ من المصدرِ

لا شكَّ أنك لاحظْتَ سهولةَ القراءةِ في كتابٍ قربَ مصباحٍ قدرتُه 100 W مقارنةً مع مصباحٍ قدرتُه 25 W. من الأسهلِ القراءةُ على مسافةٍ قريبةٍ من مصباحٍ، مقارنةً مع المسافاتِ الأبعدِ. تفيدُ هذه الملاحظاتُ أن شدَّةَ الضوءِ عند نقطة معيَّنة تعتمدُ على كمِّيَّةِ الطاقةِ الضوئيَّةِ التي يبثُّها المصدرُ، والمسافةِ بين المصدرِ الضوئيِّ والنقطة.

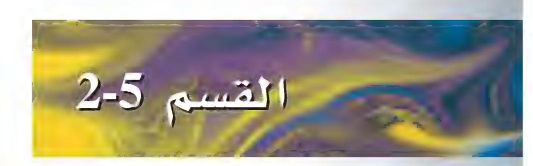
تُرمَّزُ المصابيحُ الضوئيَّةُ وفقَ قدرتِها الداخليَّةِ التي تقاسُ بالواط (W)، ووفقَ ضوئِها الخارجيِّ. يُسمّى معدَّلُ انبعاثِ الضوءِ من المصدرِ *السيلَ الضوئيَّ* ويُقاسُ *باللومن* (Lm). يُقاسُ السيلُ الضوئيُّ بالقدرةِ الخارجيَّةِ المثقَّلَةِ وفقَ ردِّ فعلِ العينِ للضوءِ. وتساعدُنا فكرةُ الدفقِ الضوئيِّ لنفهمَ سببَ انخفاضِ الإضاءةِ على صفحةِ كتابٍ مع ازديادِ المسافةِ من المصدرِ الضوئيِّ. تخيَّلْ كراتٍ مختلفةَ الحجمِ متَّحدةَ المركزِ، حيث يوجدُ مصدرٌ ضوئيٌّ، كما في **الشكل 4-5**. يبعثُ المصدرُ الضوئيُّ إضاءةً متساويةً في الاتجاهاتِ كافَّةً، ووفقَ مبدأ حفظِ الطاقةِ الذي يدلُّ على أن الدفقَ الضوئيَّ يكونُ هو نفسه على كلِّ كرةٍ. إلا أن حاصلَ قسمةِ الدفقِ الضوئيِّ على مساحةِ سطحِ الكرةِ، وهو ما يُسمّى *كثافةَ الدفقِ الضوئيِّ* (ويُقاس بـ $lm/m^2$)، يتناقصُ مع مربَّعِ نصفِ القطرِ، كلَّما ابتعدْنا عن المصدرِ الضوئيِّ.




**الشكل 4-5**
كلَّما بعدَتِ المسافةُ عن المصدرِ يقلُّ الضوءُ الساقطُ على وحدةِ المساحةِ.

## مراجعةُ القسمِ 1-5

1. حدِّدْ مناطقَ الطيفِ الكهرومغنطيسيِّ التي تستعملُ في الأجهزةِ التاليةِ:
   أ. فرنِ ميكروويف (الموجاتِ الدقيقةِ).
   ب. تلفاز.
   ج. عدسةِ كاميرا.
2. ما الطولُ الموجيُّ لموجةٍ كهرومغنطيسيَّةٍ تردُّدُها $7.57 \times 10^{14}$ Hz؟ وإلى أيِّ منطقةٍ من مناطقِ الطيفِ الكهرومغنطيسيِّ تنتمي تلك الموجةُ؟
3. حاولَ غاليليو القيامَ بتجربةٍ لقياسِ سرعةِ الضوءِ، بحسابِ الزمنِ اللازمِ للضوءِ كي يقطعَ مسافة 1.5 km ذهابًا وإيابًا. لِمَ لم يستطعْ غاليليو التوصُّلَ إلى سرعةٍ محدَّدةٍ للضوءِ؟
4. **تفكيرٌ ناقدٌ:** كم ستبدو إضاءةُ الشمسِ لمراقبٍ على سطحِ الأرضِ، إذا كانَتِ المسافةُ بينَ الأرضِ والشمسِ أربعةَ أمثالِ المسافةِ الحاليَّةِ؟ اكتبْ إجابتَك بالمقارنةِ مع الإضاءةِ الحاليَّةِ للشمسِ على سطحِ الأرضِ.




# المرايا المستوية
*Flat Mirrors*

### 5-2 مؤشّراتُ الأداء

- يميّزُ بينَ الانعكاسِ المنتظمِ والانعكاسِ غير المنتظم للضوء.
- يطبّقُ قانونَ الانعكاسِ للمرايا المستوية.
- يصفُ طبيعةَ الصورِ الناتجةِ عن المرايا المستوية.
- يوضح بالرسمِ تشكيلَ الصورِ الناتجةِ عن المرايا المتزاويةِ والمتوازية.
- يصفُ العلاقة بين حركةِ الصورةِ وحركةِ الجسمِ أمامَ مرآةٍ مستوية.

**الانعكاس**

تغيُّرٌ في اتجاهِ الانتقالِ لموجةٍ كهرومغنطيسية على سطح، يجعلُها تتحرَّكُ في الاتجاهِ المقابل.

## انعكاسُ الضوء

افترضْ أنكَ تريدُ رؤيةَ رأسِكَ من الخلفِ بعدَ انتهائِك من قصِّ شعرك. يمكنُك القيامُ بهذه المهمَّة، التي قد تبدو مستحيلة، باستعمالِ مرآتَين مستويتَين ومتقابلتَين، لتوجيهِ الضوءِ من خلفِ رأسِكَ إلى عينيك. تعتمدُ عمليةُ إعادةِ توجيهِ مسارِ الضوء على خاصّيةٍ أساسيةٍ لتفاعلِ الضوءِ مع المادة.

ينتقلُ الضوءُ في أيِّ مادةٍ منتظمة، سواءٌ أكانَتْ هواءً أم ماءً أم فراغًا، في خطوطٍ مستقيمة. لكن عندَ اصطدامِه بمادةٍ ثانية، يتغيَّرُ اتجاهُ مسارِه. إذا كانَتِ المادةُ غيرَ شفَّافةٍ لمرورِ الضوء، كالسطحِ المعتمِ والمصقولِ لطاولةٍ خشبية، لن ينفذَ الضوءُ داخلَ الطاولةِ أكثرَ من بضعةِ أطوالٍ موجية. يتمُّ امتصاصُ جزءٍ من الضوء، بينما ينحرفُ الجزءُ الآخرُ على السطح. يُسمّى هذا التغيُّرُ في اتجاهِ انتقالِ الضوءِ **الانعكاس** reflection. كلُّ الموادِّ تمتصُّ جزءًا من الضوءِ الساقطِ عليها، وتعكسُ الجزءَ الآخر. تعكسُ المرآةُ الجيدةُ حوالي 90 % من الأشعةِ الساقطةِ عليها، لكن لا يوجدُ سطحٌ عاكسٌ بالكامل. لاحظْ أن صورَ الشخصِ في **الشكل 5-5** تصبحُ أقلَّ إضاءةٍ على التوالي.



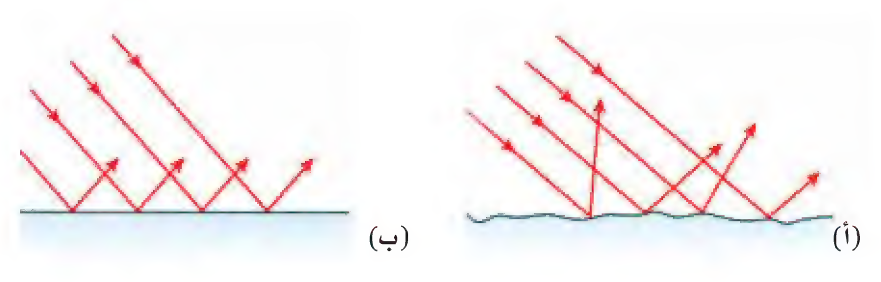
**الشكل 5-5**

تعكسُ المرايا كلَّ الأشعةِ الساقطةِ تقريبًا. بحيث يسهلُ تكوّنُ صورٍ متعددةٍ لجسمٍ بين مرآتَين.

### تكوينُ السطحِ وانعكاسُ الضوء

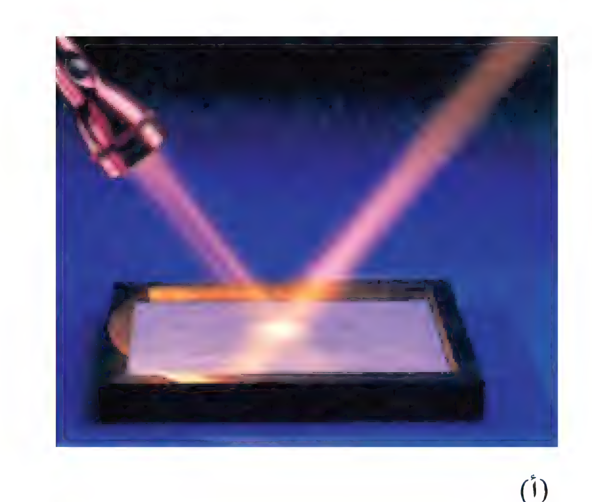
تؤثّرُ نعومةُ السطحِ العاكسِ في الطريقةِ التي ينعكسُ فيها الضوءُ عن السطح. ينعكسُ الضوءُ عن السطوحِ الخشنة، كالورقِ والثيابِ والخشبِ غيرِ المصقول، في اتجاهاتٍ مختلفةٍ ومتعدِّدة، كما في **الشكل 5-6** (أ). يُسمّى هذا النوعُ بالانعكاسِ غيرِ المنتظم. وسوف نتطرَّقُ إليه في القسم 7-1.

ينعكسُ الضوءُ عن السطوحِ الناعمةِ والمصقولة، كالمرايا وسطوحِ بركِ المياه، في اتجاهٍ واحدٍ فقط، كما في **الشكل 5-6** (ب). يُسمّى هذا الانعكاسُ بالانعكاسِ المنتظم. يُعدُّ السطحُ ناعمًا إذا كانَتِ التغيُّراتُ في سطحِه صغيرة، مقارنةً مع الطولِ الموجيِّ للأشعةِ الساقطة. سنراعي في دراستِنا الانعكاسَ المنتظم فقط.




**الشكل 5-6**

ينعكسُ الضوءُ غيرُ المنتظمِ في اتجاهاتٍ متعدِّدة (أ). بينما ينعكسُ الضوءُ بطريقةٍ منتظمةٍ في اتجاهٍ واحدٍ فقط (ب).



(أ)

الضوءُ المنعكس　العمود　الضوءُ الساقط

$\theta'$　$\theta$

السطحُ العاكس　(ب)

**الشكل 7-5**

يظهرُ تماثلُ الضوءِ المنعكس (أ) من خلالِ قانونِ الانعكاسِ الذي ينصُّ على أن زاويتَي السقوطِ والانعكاسِ متساويتان (ب).

**زاويةُ السقوط**

الزاويةُ بين الشعاعِ الساقطِ والعمود على السطحِ العاكس عندَ نقطةِ السقوط.

**زاويةُ الانعكاس**

الزاويةُ بين الشعاعِ المنعكسِ والعمود على السطحِ العاكس عندَ نقطةِ السقوط.

### تَساوي زاويتَي السقوطِ والانعكاس

ربما لاحظْتَ من قبلُ أنه عندَما تسقطُ الأشعةُ على سطحٍ ناعم، كطاولةٍ مصقولةٍ أو مرآة، بزاويةٍ قريبةٍ من السطح، تكونُ الأشعةُ المنعكسةُ قريبةً من السطحِ أيضًا. وعندما تكونُ الأشعةُ الساقطةُ بعيدةً عن السطح، تكونُ الأشعةُ المنعكسةُ بعيدةً عن السطحِ أيضًا. يُظهرُ **الشكل 7-5** (أ) إحدى حالاتِ التماثلِ هذه بينَ الأشعةِ الساقطةِ والأشعةِ المنعكسة.

إذا رسمْنا خطًّا عموديًّا على السطحِ العاكسِ عندَ نقطةِ سقوطِ الشعاعِ على السطح، يمكنُ تعريفُ **زاويةِ السقوط** angle of incidence **وزاويةِ الانعكاس** angle of reflection بالنسبةِ إلى هذا الخط. تظهرُ عملياتُ القياسِ الدقيقةُ لزاويتَي السقوط $\theta$ والانعكاس $\theta'$ أن هاتَين الزاويتَين متساويتان دائمًا، كما في **الشكل 7-5** (ب).

$$\theta = \theta'$$

زاويةُ السقوط = زاويةَ الانعكاس

تكونُ الزاويةُ بينَ الشعاعِ الساقطِ وسطحِ المرآة $90^\circ - \theta$، بينَما تكونُ الزاويةُ بينَ الشعاعِ المنعكسِ وسطحِ المرآة $90^\circ - \theta'$.

## المرايا المستوية

المرآةُ الأبسطُ هي المرآةُ المستوية. إذا وُضعَ جسمٌ، كقلمِ رصاص مثلاً، أمامَ مرآةٍ مستويةٍ وارتدَّتِ الأشعةُ منه، فإنها ستنتشرُ من القلمِ وتنعكسُ عندَ سطحِ المرآة. تبدو الأشعةُ المنعكسة، لمراقبٍ أمامَ المرآة، وكأنها قادمةٌ من مكانٍ ما خلفَ المرآة. نقولُ إن صورةً للجسمِ تكوَّنَتْ في هذا المكانِ خلفَ المرآة، لأن الأشعةَ المنعكسةَ تبدو وكأنَّها قادمةٌ منه. كما نلاحظُ أن بُعدَ الجسمِ عن المرآة $p$ يساوي بُعدَ الصورةِ عن المرآة $q$. كذلك يتساوى حجمُ الجسمِ وحجمُ صورتِه.

**الصورةُ الخياليّة**

صورةٌ تتكوَّنُ عندَ نقطة تبدو الأشعةُ كأنَّها منطلقةٌ منها، في حين أنها لا تنطلقُ منها بالفعل.

إن الصورةَ المكوَّنةَ من الأشعةِ التي تبدو كأنها قادمةٌ من نقطةٍ خلفَ المرآة، لكنَّها في الحقيقةِ ليسَت كذلك، تُسمّى **صورةً خياليَّةً** virtual image. يُظهر الشكل **8-5** (أ)، أن المرايا المستوية تكوِّن دائمًا صورًا خيالية، تبدو كأنها خلفَ المرآة. لذلك لا يمكنُ أبدًا تشكيلُ صورةٍ خياليّةٍ على سطحٍ فيزيائيّ.

## تحديدُ موقعِ الصورةِ برسمِ الأشعة

رسومُ الأشعة، كالرسمِ الموضَّحِ في **الشكل 8-5** (ب)، رسومٌ هندسيةٌ بسيطةٌ تُستعمل لتحديدِ موقعِ صورةٍ تكوِّنُها مرآة. افترضْ أنكَ ترسمُ أشعةً لقلمِ رصاص يقف أمامَ مرآةٍ مستوية. بدايةً ارسمِ الموقفَ الذي يُحدِّدُ مكانَ المرآةِ وموقعَ القلمِ منها. نفِّذِ الرسمَ بحيثُ يتناسبُ كلٌّ من بُعدِ الجسمِ عن المرآة $p$ وبُعدِ الصورةِ عنها $q'$ مع حجمِ كلٍّ منهما على التوالي. للتسهيلِ ندرسُ فقطْ نقطةَ رأسِ القلم.

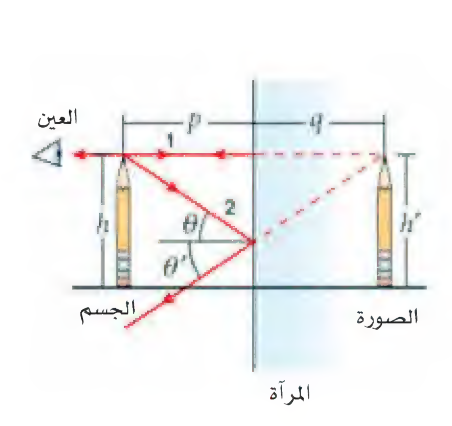
لتحدِّدَ موقعَ صورةِ رأسِ القلم، ارسمْ شعاعَين ساقطَين على المرآة. ليكنِ الشعاعُ الأوّلُ من رأسِ القلمِ عموديًّا على المرآة. لأن الزاويةَ بينَ هذا الشعاعِ والعمود على المرآة $0°$، فإن زاويةَ انعكاسِه $0°$ أيضًا، ما يؤدّي إلى انعكاسِ الشعاعِ على نفسِه. يُرمزُ إلى هذا الشعاعِ في **الشكل 8-5** (ب) بالرقمِ 1، ويُشارُ إليه بسهمَين في الاتجاهَين، لأن الشعاعَ الساقطَ ينعكسُ على نفسِه.

ارسمْ شعاعًا ثانيًا من رأسِ القلمِ إلى المرآة، وليشكِّلْ هذه المرَّةَ زاويةً بينَه وبين العمود عندَ نقطةِ السقوط. يُرمزُ إلى هذا الشعاعِ في **الشكل 8-5** (ب) بالرقمِ 2. ثم ارسمِ الشعاعَ المنعكسَ في الاتجاهِ المقابلِ للمرآة، حيث تتساوى زاويةُ الانعكاس $\theta'$ بينَه وبين العمود على المرآةِ مع زاويةِ السقوط $\theta$.

ارسم بعدَ ذلك امتدادَ الشعاعَين المنعكسَين إلى الخلفِ نحو النقطةِ التي يبدو أنهما انطلقا منها خلفَ المرآة. ارسمْ خطوطًا متقطّعةً للتعبيرِ عن الأشعةِ التي تبدو كأنها قادمةٌ من خلفِ المرآة، لتمييزها من الأشعةِ الحقيقية (الخطوطِ السوداء) أمامَ المرآة. تُعدُّ نقطةُ تقاطعِ الخطَّين المتقطِّعَين صورةَ نقطةِ رأسِ القلم.



(أ)




(ب)

**الشكل 8-5**

موقعُ الصورةِ الخياليةِ التي تتكوَّنُ في مرآةٍ مستوية وارتفاعُها (أ) يمكنُ تحديدُهما بوساطةِ الرسمِ الشعاعي (ب).

بتكرارِ هذه العمليةِ لأقسامِ القلمِ الأخرى، يمكنُ تحديدُ صورةِ القلمِ الخياليةِ بالكامل. لاحظْ أن صورةَ القلمِ تبدو على المسافةِ نفسِها خلفَ المرآة، كالمسافةِ بين القلمِ والمرآة $(p = q)$. كما أن ارتفاعَ القلم $h$ يتساوى مع ارتفاعِ الصورة $h'$.

تُستعمل طريقةُ رسمِ الأشعةِ هذه لأيِّ جسمٍ أمامَ مرآةٍ مستوية. باختيارِ نقطةٍ من نقاطِ الجسمِ (عادة ما تكونُ أعلى نقطة)، يمكنُ متابعةُ مسارِ شعاعَينِ ساقطَين، لتحديدِ موقعِ صورةِ تلك النقطة. يمكنُ رسمُ باقي الصورة، بعدَ تحديدِ صورةِ النقطة، والمسافةِ بينَ الصورةِ والمرآة.

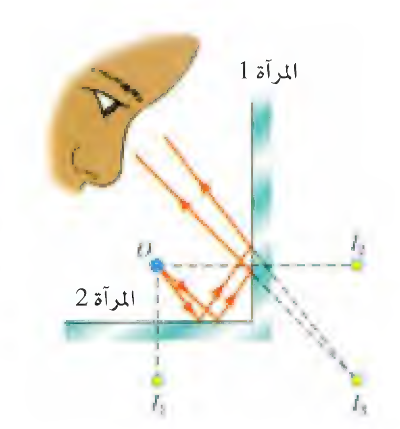



**الشكل 5-9**
يظهرُ الجزءُ الأيمنُ لجسمٍ مقابلَ الجزءِ الأيسرِ لصورتِه.

تظهرُ الصورةُ المكوَّنةُ بوساطةِ مرآةٍ مستوية، معكوسةً لمراقبٍ يقفُ أمامَ المرآة. يمكنُك، ملاحظةُ ذلك بسهولةٍ إذا وضعتَ نصًّا مكتوبًا أمامَ المرآة، كما في **الشكل 5-9**. ترى صورةَ كلِّ حرفٍ من الحروفِ معكوسةً في المرآة. يمكنُ أيضًا ملاحظةُ أن الزاويتَين بينَ المرآةِ وكلٍّ من الكلمةِ وصورتِها متساويتان.

## المرايا المتزاوية

عندما تتواجه مرآتان عموديًّا تتشكّلُ بالإضافةِ إلى الصورتَيْن الخياليتَيْن بالنسبةِ للمرآتَين صورة خياليَّة أخرى. فالضوءُ الذي ينعكسُ مرَّتَيْن يشكّلُ صورةً ثالثةً كما في **الشكل 5-10**. تقعُ الصورُ الثلاثُ، رياضيًّا، على الزوايا الثلاثِ لمستطيلٍ مركزُه نقطةُ تقاطعِ المرآتَين.




**الشكل 5-10**
يتكوَّنُ للجسمِ الموجودِ أمامَ مرآتَين متعامدتَين، ثلاثُ صور.

### نشاط عملي سريع

**مرآتان مستويتان متزاويتان**

**الموادّ**

- ✓ مرآتان مستويتان
- ✓ حامل مرآة
- ✓ منقلة

**إرشاداتُ السلامة**

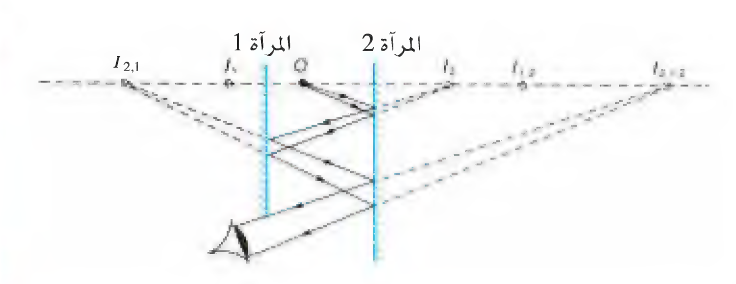
احترسْ دائمًا لدى استعمالِ المرايا الزجاجيّة من أن تنكسرَ وتسبّبَ ضررًا.

ثبِّتْ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ مرآتَيْن على حاملَيْن. دعِ المرآتَيْن تتواجها بزاوية °45. انظرْ من موقعٍ بينَ المرآتَيْن إلى صورتِك خلفَ كلٍّ منهما وحاولْ أن تحدِّدَ عددَ الصورِ التي تراها. هل عددُ الصورِ أكبرُ أم أصغرُ من عددِ الصورِ في حالةِ المرايا المتعامدة؟ اشرحْ.

### المرايا المتوازية

يقعُ جسمٌ بين مرآتَين مستويتَين ومتوازيتَين كما في **الشكل 5-11**.






**الشكل 5-11**

تنظرُ العينُ إلى إحدى الصورِ المكوَّنةِ في المرآةِ الثانية.

يتشكّلُ للجسم O صورٌ متعدِّدةٌ بالنسبةِ لكلِّ مرآة، بحيثُ تكون:

$I_1$: صورةُ الجسمِ O بالنسبةِ لـ $M_1$

$I_2$: صورةُ الجسمِ O بالنسبةِ لـ $M_2$

$I_{1,2}$: صورةُ الجسمِ O بالنسبةِ لـ $M_1$ ثمّ $M_2$

$I_{2,1}$: صورةُ الجسمِ O بالنسبةِ لـ $M_2$ ثمّ $M_1$

$I_{2,1,2}$: صورةُ الجسم O بالنسبة لـ $M_2$ ثمّ $M_1$ ثمّ $M_2$

تقعُ الصورُ على خطٍّ مستقيمٍ يمرُّ في الجسمِ O ويتعامدُ على المرآتَين $M_1$ و $M_2$. تشكّلُ كلُّ صورةٍ $I_1$ للجسمِ O في إحدى المرآتَين $M_1$ جسمًا للمرآةِ الأخرى $M_2$. بدورِها تعطي $M_2$ للجسمِ $I_1$ صورةً خياليَّة $I_2$. ويتشكّلُ بعد انعكاسَيْن للضوءِ على $M_2$ و $M_1$ صورةٌ جديدةٌ $I_{2,1,2}$ للجسم $I_2$.

تستطيعُ العينُ بالتالي رؤيةَ سلسلةٍ من الصورِ الخياليَّةِ للجسمِ الواحدِ خلفَ المرآةِ. باستطاعةِ المراقبِ ملاحظةَ هذه الظاهرةِ عند دخولِه صالةَ حلاقةٍ أو محلاًّ لبيعِ الملبوسات.

# العلاقةُ بينَ حركةِ الصورةِ وحركةِ الجسمِ أمامَ المرآةِ المستوية

يقفُ مراقبٌ أمامَ مرآةٍ مستويةٍ فيرى صورتَه داخلَ المرآة. يقتربُ المراقبُ من المرآةِ فتقتربُ صورتُه من المرآةِ أيضًا. يبعدُ عنها فتبتعدُ صورتُه. يعودُ فيقتربُ حتى يصلَ إلى المرآةِ ليجدَ أنَّ صورتَه قد وصلتْه من داخلِ المرآةِ. عندَ القيامِ ببعضِ القياساتِ للمسافة والزمنِ يجدُ المراقبُ أنّه إذا اقتربَ من المرآةِ مسافة 1 m خلالَ ثانيةٍ تقتربُ صورتَه من المرآةِ مسافة 1 m خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ نفسِها. ممّا يعني أنّها اقتربَتْ منه مسافة 2 m خلالَ 1 s. لذلك إذا كانَت سرعةُ حركتِه بالنسبةِ للمرآة 1 m/s تكونُ سرعةُ حركةِ صورتِه بالنسبةِ إليه 2 m/s.

## مراجعةُ القسم 2-5

1. أيٌّ مما يلي انعكاسٌ انتشاريّ (غيرمنتظم)؟ وأيٌّ انعكاسٌ برّاق (منتظم)؟
   أ. الانعكاسُ عن سطحِ بحيرةٍ في يوم صافٍ
   ب. انعكاسُ الضوءِ عن كيسِ مهملاتٍ بلاستيكي
   ج. انعكاسُ الضوءِ عن عدسةِ نظّارة
   د. انعكاسُ الضوءِ عن سجّادة

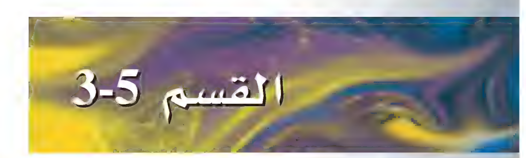
2. افترضْ أنكَ تحملُ مرآةً مستوية، وتقفُ عندَ مركزِ ساعةٍ ضخمةٍ مرسومةٍ على الأرض. يقفُ زميلٌ لكَ عند إشارةِ الساعة 12 ويطلقُ ضوءًا باتّجاهك. تريدُ أن تعكسَ هذا الضوءَ باتجاهِ زميلٍ آخرَ عند إشارةِ الساعةِ 5. كم يجبُ أن تكونَ زاويةُ السقوطِ في هذه الحالة؟ وكم يجب أن تكونَ زاويةُ الانعكاس؟

3. تكونُ النوافذُ في بعضِ مخازنِ التسويقِ مائلةً من الأسفلِ نحو الداخل. يتمُّ ذلكَ لتقليلِ وهجِ إضاءةِ المباني المنبعثِ من الطرفِ الآخرِ للشارع، والذي يؤثّرُ سلبًا على رؤيةِ المتسوّقين للبضائعِ المعروضةِ في الداخلِ القريبِ من أسفلِ النافذة. ارسمِ الأشعةَ المعكوسةَ عن النافذةِ المائلةِ لتوضيحِ طريقةِ العمل.

4. **تفسيرُ الرسومِ البيانية:** يُظهرُ الرسمُ الفوتوغرافي في **الشكل 5-5** صورًا متعدِّدةً ناتجةً عن انعكاساتٍ متعدِّدةٍ بينَ مرآتَين متقابلتَين. ماذا تستنتجُ عن ميلِ إحدى المرآتَين بالنسبةِ إلى الأخرى؟ أوضحْ إجابتَك.

5. **تفكيرٌ ناقد:** إذا وضعْتَ مرآةً مستويةً كبيرةً في إحدى الغرف، فكم ستبدو الغرفة أكبرَ من حجمِها الحقيقي؟ أوضحْ إجابتَك.

6. **تفكيرٌ ناقد:** لماذا تبدو المرآةُ المستويةُ أنها تعكسُ الجانبَين الأيمنَ والأيسرَ للشخصِ الواقفِ أمامها، في حين أنها لا تعكسُ النقاطَ العليا والسفلى؟




# المرايا الكرويَّةُ
## *Spherical Mirrors*

### 5-3 مؤشِّراتُ الأداءِ

- يحسبُ المسافاتِ والأبعادَ البؤريَّةَ باستعمالِ معادلاتِ المرايا الكرويَّةِ المقعَّرةِ والمحدَّبةِ.
- يرسمُ مخطَّطاتِ أشعَّةٍ لتحديدِ الموقعِ والتكبيرِ لصورةٍ ناتجةٍ عن مرايا كرويَّةٍ مقعَّرةٍ ومحدَّبةٍ.
- يميِّزُ بينَ الصورِ الحقيقيَّةِ والصورِ الخياليَّةِ.
- يصفُ تأثيرَ مرايا القطعِ المكافئِ على الزيغِ الكرويِّ.

## المرايا الكرويَّةُ المقعَّرةُ

إن المرايا الكرويَّةَ الصغيرةَ التي تُستعملُ للتزيينِ قد تبدو للوهلةِ الأولى مرايا مستويةً. إلاّ أن الصورَ التي تكوِّنُها تختلفُ عن الصورِ الناتجةِ عن المرايا المستويةِ. فصورةُ الجسمِ القريبِ من المرآةِ أكبرُ من الجسمِ، كما في **الشكل 5-12** (أ)، في حين أن صورةَ الجسمِ البعيدِ عنها تكونُ مقلوبةً وأصغرَ من الجسمِ، كما في **الشكل 5-12** (ب). تختصُّ هذه الصورُ بالمرايا الكرويَّةِ. الصورةُ في **الشكل 5-12** (أ) صورةٌ خياليَّةٌ virtual image كالصورةِ الناتجةِ من مرآةٍ مستويةٍ، في حين أن الصورةَ في **الشكل 5-12** (ب) صورةٌ حقيقيَّةٌ ناتجةٌ من مرآةٍ محدَّبةٍ.

### استعمالُ المرايا المقعَّرةِ للحصولِ على الصورِ الحقيقيَّةِ

المرآةُ الكرويَّةُ، كما يدلُّ اسمُها، جزءٌ من سطحٍ كرويٍّ. تُسمّى المرآةُ الكرويَّةُ، التي تعكسُ الضوءَ عن سطحِها العاكسِ المقعَّرِ (أي السطحِ الداخليِّ لكرةٍ)، **المرآةَ الكرويَّةَ المقعَّرةَ** concave spherical mirror. وتُستعملُ المرايا المقعَّرةُ للحصولِ على صورٍ مكبَّرةٍ للأجسامِ، كما في مرايا التزيينِ.

**المرآةُ الكرويَّةُ المقعَّرةُ**

مرآةٌ سطحُها العاكسُ جزءٌ من السطحِ الداخليِّ لكرةٍ.

أحدُ العواملِ التي تحدِّدُ موقعَ الصورةِ، ودرجةَ تكبيرِها في المرآةِ المقعَّرةِ، هو نصفُ قُطرِ المرآةِ $R$. وهو نصفُ قطرِ الكرةِ التي تشكِّلُ المرآةُ جزءًا صغيرًا منها، وتُمثِّلُ المسافةَ من المرآةِ إلى مركزِ انحنائِها $C$.







**الشكل 5-12**
تُستعملُ المرايا الكرويَّةُ المقعَّرةُ للحصولِ على صورٍ أكبرَ من الجسمِ كما في الشكلِ (أ)، أو أصغرَ منه كما في الشكلِ (ب).

المرآة
السطحُ العاكس
الجسم
$h$
الصورة
$O$
المحورُ الأساسيُّ
$C$
$h'$
خلفَ المرآةِ
$R$
$f$
$p$
$q$

(أ)



(ب)

**الشكل 5-13**

(أ) الأشعَّةُ الصادرةُ من جسمٍ (مصدرٍ ضوئي) تتجمَّعُ أمامَ المرآةِ المقعَّرةِ لتكوِّنَ صورةً حقيقيَّةً. (ب) في هذا التركيبِ المختبري، تبدو الصورةُ الحقيقيَّةُ لفتيلةِ مصدرٍ ضوئيٍّ على لوحٍ زجاجيٍّ أمامَ المرآةِ المقعَّرةِ.

تخيَّلْ مصباحًا ضوئيًّا موضوعًا بشكلٍ قائمٍ، على مسافةِ $p$ من مرآةٍ كرويَّةٍ مقعَّرةٍ، كما في **الشكل 5-13** (أ). تستقرُّ قاعدةُ المصباحِ على المحورِ الأساسيِّ للمرآةِ الذي يمتدُّ عبرَ مركزِ سطحِ المرآةِ $O$ ومركزِ تكوُّرها $C$. وتنتشرُ الأشعَّةُ الضوئيَّةُ من المصدرِ الضوئيِّ، فتنعكسُ عن سطحِ المرآةِ لتتجمَّعَ على مسافةِ $q$ أمامَ المرآةِ. ولما كانتِ الأشعةُ الضوئيَّةُ المنعكسةُ من المرآةِ تمرُّ حقيقةً لتكوينِ الصورةِ الواقعةِ تحتَ المحورِ الأساسيّ، فإن الصورةَ في هذه الحالةِ تتكوَّنُ أمامَ المرآةِ.

إذا وضعْتَ ورقةً أمامَ المرآةِ في الموقعِ الذي تتشكَّلُ فيه الصورةُ، ترى صورةً واضحةً للمصدرِ الضوئيِّ على الورقةِ وتكونُ الصورةُ في هذه الحالةِ **صورةً حقيقيَّةً real image**. وإذا حرَّكْتَ الورقةَ من مكانِها في أحدِ الاتجاهَيْن، تتفرَّقُ الأشعَّةُ وتفقدُ الصورةُ وضوحَها. وبخلافِ الصورِ الخياليَّةِ التي تتكوَّنُ خلفَ المرآةِ المستويةِ، يمكنُ رؤيةُ الصورِ الحقيقيَّةِ على شاشةِ عرضٍ. فيُظهرُ **الشكلُ 5-13** (ب) صورةً حقيقيَّةً لفتيلةِ مصباحٍ ضوئيٍّ على سطحٍ زجاجيٍّ أمامَ مرآةٍ مقعَّرةٍ. المصدرُ الضوئيُّ نفسُه لا يظهرُ في الصورةِ وهو إلى يسارِ السطحِ الزجاجيِّ.

**الصورةُ الحقيقيَّةُ**

صورةٌ تتكوَّنُ عندما تتجمَّعُ الأشعَّةُ الضوئيَّةُ بشكلٍ حقيقيٍّ بعد انعكاسِها عن سطحِ المرآةِ.

## صورُ المرايا الكرويَّةِ والزيغُ الكرويُّ

عندَما ترسمُ مُخطَّطاتِ الأشعَّةِ، تلاحظُ أن بعضَ الأشعَّةِ لا تتقاطعُ تمامًا عندَ نقطةٍ محدَّدةٍ. تبدو هذه الظاهرةُ واضحةً في الأشعَّةِ البعيدةِ عن المحورِ الأساسيِّ، والمرايا التي يكونُ نصفُ قطرِ تكوُّرِها صغيرًا. هذه الظاهرةُ، التي تُسمّى الزيغَ الكرويَّ، تحصلُ للأشعَّةِ البصريَّةِ الحقيقيَّةِ والمرايا الكرويَّةِ الحقيقيَّةِ.

ستدرسُ في الصفحاتِ التاليةِ من هذا القسمِ معادلاتِ المرايا ومخطَّطاتِ الأشعَّةِ. حيث ينطبقُ هذانِ المفهومانِ على الأشعَّةِ القريبةِ من المحورِ الأساسيِّ فقط؛ ولكنهما يقدِّمانِ تَقْريبًا مهمًّا للحالاتِ الأخرى. وسنفترضُ أن كلَّ الأشعَّةِ المستعملةِ في مخطَّطاتِنا وحساباتِنا المرتبطةِ بالمرايا الكرويَّةِ، هي بالفعلِ قريبةٌ من المحورِ الأساسيِّ، بالرغمِ من أنها لا تبدو كذلك في المخطَّطاتِ الواردةِ في الفصلِ.

## تحديدُ موقعِ الصورةِ بوساطةِ معادلةِ المرآةِ

بالنظرِ إلى **الشكل 5-14** (أ)، يمكنُكَ ملاحظةُ علاقةٍ بينَ بُعدِ الجسمِ عن المرآةِ وبُعدِ الصورةِ ونصفِ قطرِ التكوُّرِ. إذا كانَ موقعُ الجسمِ ونصفُ قطرِ تكوُّرِ المرآةِ معروفَيْنِ، فيمكنُكَ التنبُّؤُ بموقعِ الصورةِ. وبالمقابلِ يمكنُ تحديدُ نصفِ القطرِ لتكوُّرِ المرآةِ إذا كانَ موقعُ كلٍّ من الجسمِ والصورةِ من المرآةِ معروفَيْنِ. تربطُ العلاقةُ التاليةُ بينَ بُعدِ الجسمِ عن المرآةِ $p$ وبُعدِ الصورةِ عنها $q$ ونصفِ قطرِ التقعُّرِ $R$، وهي تُسمّى معادلةَ المرآةِ.

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}$$

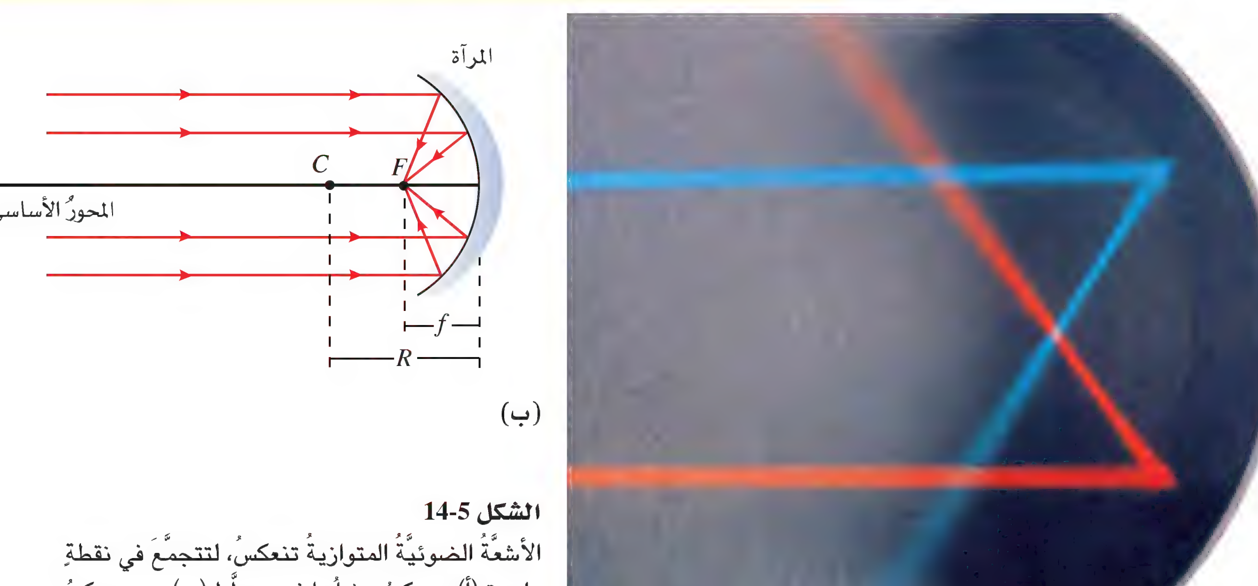
إذا وُضعَ المصباحُ الضوئيُّ على مسافةٍ بعيدةٍ من المرآةِ، يكونُ بُعدُ الجسمِ عن المرآةِ $p$ كبيرًا جدًّا قياسًا على $R$، وتقتربُ $\frac{1}{p}$ من الصفرِ. في هذه الحالةِ تكونُ $q$ قريبةً جدًّا من $\frac{R}{2}$ ، وتتكوَّنُ الصورةُ في منتصفِ المسافةِ بين مركزِ تكوُّرِ المرآةِ ومركزِ سطحِها. وتُسمّى نقطةُ الصورةِ الموضحةُ في **الشكل 5-14** (أ) و(ب) في هذه الحالةِ الخاصّةِ بؤرةَ المرآةِ، ويُرمزُ إليها بـ $F$ كبيرةٍ. وبما أن الأشعَّةَ الضوئيَّةَ انعكاسيَّةٌ، فإن الأشعَّةَ المنعكسةَ من مصدرٍ ضوئيٍّ عند نقطةِ البؤرةِ تكونُ متوازيةً ولا تكوِّنُ صورةً.

تكونُ الأشعَّةُ القادمةُ من جسمٍ بعيدٍ جدًّا عن المرآةِ متوازيةً، وتتكوَّنُ الصورةُ في هذه الحالةِ عندَ البؤرةِ $F$، ويكونُ بُعدُها عن المرآةِ هو البُعدُ البؤريُّ، ويرمزُ إليه بـ $f$ صغيرةٍ. يساوي البُعد البؤريُّ للمرآةِ الكرويَّةِ ربعَ قطرِ تكوُّرِ المرآةِ. ويمكنُ أن تُعادَ كتابةُ معادلةِ المرآةِ، في هذهِ الحالةِ، بدلالةِ البُعدِ البؤريِّ $f$. وإذا كانَ المصدرُ الضوئيُّ عندَ نقطةِ البؤرةِ كانَتِ الأشعَّةُ المنعكسةُ متوازيةً ولا تكوّنُ صورةً.

**معادلةُ المرآةِ**

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{\text{بُعد الجسم}}+\frac{1}{\text{بُعد الصورة}}=\frac{1}{\text{البُعد البؤري}}$$




**الشكل 5-14**
الأشعَّةُ الضوئيَّةُ المتوازيةُ تنعكسُ، لتتجمَّعَ في نقطةٍ واحدةٍ (أ). ويمكنُ تمثيلُها في مخطَّطٍ (ب) حيث يمكنُ افتراضُ انطلاقِ الأشعَّةِ من جسمٍ بعيدٍ جدًّا ($p \approx \infty$).

### نشاط عملي سريع

**المرايا المقعَّرةُ**

**الموادّ**

- ✓ ملعقةٌ فضِّيةٌ أو فولاذيَّةٌ
- ✓ قلمُ رصاصٍ قصيرٌ

لاحظِ انعكاسَ أشعَّةِ قلمِ الرصاصِ عن السطحِ الداخليِّ للملعقةِ. حرِّكِ الملعقةَ ببطءٍ نحوَ القلمِ. لاحظِ التغيُّرَ في انعكاسِ أشعَّةِ القلمِ. أعدْ هذه الخطواتِ باستعمالِ الجهةِ الأخرى من الملعقةِ كمرآةٍ.

يجبُ اعتمادُ قاعدةٍ واضحةٍ لإشاراتِ المتغيّراتِ الثلاثةِ الواردةِ في معادلةِ المرآةِ. تُعدُّ المنطقةُ التي تنعكسُ فيها الأشعَّةُ لتكوِّنَ صورًا حقيقيَّةً منطقةَ أمامِ المرآةِ. أما المنطقةُ الثانيةُ، حيث لا توجدُ أشعَّةٌ حقيقيَّةٌ وتتكوَّنُ فيها صورٌ خياليَّةٌ، فهي منطقةُ خلفِ المرآةِ.

**تُعدُّ المسافاتُ بينَ الأجسامِ والصورِ من ناحيةٍ، والمرآةِ من ناحيةٍ أخرى، مسافاتٍ موجبةً إذا كانَتِ الأجسامُ والصورُ أمامَ المرآةِ، وسالبةً إذا كانَت خلفَها. وبما أن سطحَ المرآةِ المقعَّرةِ يقعُ في جهتِها الأماميَّةِ، فإن بعدَها البؤريَّ يكونُ موجبًا دائمًا. ويكونُ طولُ كلٍّ من الجسمِ والصورةِ موجبًا إذا كانا فوقَ المحورِ الأساسيِّ، وسالبًا إذا كانا تحتَه.**

## علاقةُ التكبيرِ بطولِ الجسمِ وطولِ الصورةِ

بخلافِ المرايا المستويةِ، تُعطي المرايا الكرويةُ صورةً لا يكونُ حجمُها مساويًا لحجمِ الجسمِ. ويُسمّى قياسُ كِبَرِ الصورةِ أو صِغَرِها بالنسبةِ إلى حجمِ الجسمِ الأساسيِّ تكبيرَ الصورةِ.

إذا كنْتَ تعلمُ موقعَ تكوُّنِ الصورةِ مقارنةً مع موقعِ الجسمِ، يمكنُكَ تحديدُ تكبيرِ الصورةِ. يُعرَّفُ التكبيرُ $M$ بنسبةِ طولِ الصورةِ إلى طولِ الجسمِ الأصليِّ. كذلك تكونُ $M$ سالبَ نسبةِ بُعدِ الصورةِ عن المرآةِ إلى بُعدِ الجسمِ عنها. إذا كانَ طولُ الصورةِ أصغرَ من طولِ الجسمِ، يكونُ التكبيرُ أقلَّ من واحدٍ. أما إذا كانَ طولُ الصورةِ أكبرَ، يكونُ التكبيرُ أكبرَ من واحدٍ. التكبيرُ كمّيَّةٌ ليسَ لها وحدةُ قياسٍ لأنها نسبةٌ بينَ طولَيْن.

**علاقةُ التكبيرِ**

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

**التكبير = طولُ الصورة / طولِ الجسم = − المسافة بينَ الصورة والمرآة / المسافةِ بينَ الجسم والمرآة**

في الصورِ المتكوِّنةِ أمامَ المرآةِ، يكونُ التكبيرُ سالبًا، وتكونُ الصورةُ مقلوبةً بالنسبةِ إلى الجسمِ. أما الصورُ المتكوِّنةُ خلفَ المرآةِ، فيكونُ تكبيرُها موجبًا، وتكونُ الصورةُ معتدلةً بالنسبةِ إلى الجسمِ. يوضحُ **الجدولُ 2-5** إشاراتِ التكبيرِ.

**الجدول 2-5 إشاراتُ التكبيرِ**

| اتجاهُ الصورةِ بالنسبةِ إلى الجسمِ | إشارة $M$ | نوعُ الصورةِ |
|---|---|---|
| معتدلة | + | خياليَّة |
| مقلوبة | − | حقيقيَّة |

## استعمالُ مخطَّطاتِ الأشعةِ للمرايا الكرويَّةِ المقعَّرة

تُستعملُ مخطَّطاتُ الأشعَّةِ للتحقُّقِ من القيَمِ التي يتمُّ الحصولُ عليها من معادلتَي المرآةِ والتكبير. إن مخطَّطاتِ الأشعَّةِ، التي استُعْمِلَتْ لتحديدِ موقعِ صورةِ جسمٍ أمامَ مرآةٍ مستويةٍ، يمكنُ استعمالها أيضًا للمرايا الكرويةِ المقعَّرة. فعندَ قيامِكَ برسمِ مخطَّطاتِ الأشعةِ للمرايا المقعَّرةِ، اتَّبِع الخطواتِ نفسَها كما في حالةِ المرايا المستويةِ، لكن ينبغي أن تحدِّدَ المسافاتِ على المحورِ الأساسيِّ وموقعَيْ مركزِ التكوُّرِ $C$ والبؤرةِ $F$. وكما في حالةِ المرآةِ المستويةِ، ارسمِ المخطَّطَ وفقَ مقياسٍ محدَّدٍ. فإذا كانَ بُعدُ الجسمِ عن المرآة 50 cm، يمكنُك التعبيرُ عن ذلك بمسافةِ 5 cm.

في المرايا الكرويَّةِ، تُستعملُ ثلاثةُ أشعَّةٍ أساسيَّةٍ لإيجادِ نقطةِ الصورةِ، ويحدِّدُ تقاطعُ أيِّ شعاعَيْنِ منعكسَيْنِ موقعَ تلك الصورةِ. يجبُ أن يمرَّ الشعاعُ المنعكسُ الثالثُ بنقطةِ التقاطعِ نفسِها، ويمكنُ استعماله للتحقُّقِ من صحَّةِ المخطَّطِ. يصفُ **الجدولُ 5-3** الأشعَّةَ الثلاثةَ المذكورةَ.

**الجدول 5-3 قواعدُ رسمِ الأشعَّةِ الأساسيَّة**

| الشعاع | الخط المرسومُ من الجسمِ إلى المرآةِ | الخط المرسومُ من الصورةِ إلى المرآةِ بعدَ الانعكاس |
|---|---|---|
| 1 | موازٍ للمحورِ الأساسيِّ | يمرُّ خلالَ البؤرةِ $F$ |
| 2 | يمرُّ خلالَ البؤرةِ $F$ | موازٍ للمحورِ الأساسيِّ |
| 3 | يمرُّ خلالَ مركزِ التكوُّرِ $C$ | ينعكسُ على نفسِه مارًّا خلالَ $C$ |

يجبُ أن يتطابقَ بُعدُ الصورةِ الناتجُ من مخطَّطِ الأشعَّةِ عن المرآةِ، مع قيمتِه $q$ المحسوبةِ من معادلةِ المرآةِ. لكنَّهما قد لا يتطابقان، لعدمِ الدقَّةِ في رسمِ مخطَّطِ الأشعةِ على مقياسٍ صغيرٍ، وفي حالةِ الأشعَّةِ البعيدةِ عن المحورِ الأساسيِّ. تُستعملُ مخطَّطاتُ الأشعَّةِ للحصولِ على قيَمٍ تقريبيَّةٍ فقط، ولا يمكن اعتبارُها قيمًا حسابيَّةً دقيقةً.

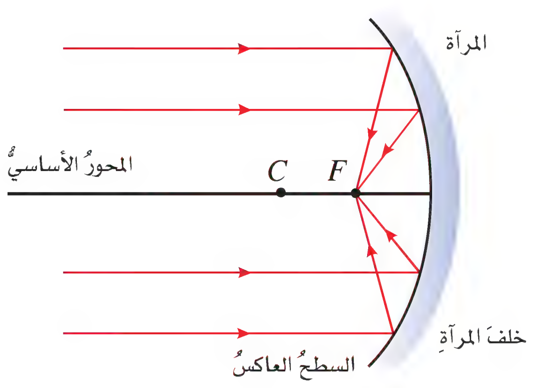
## الصورُ الحقيقيَّةُ والخياليَّةُ الناتجةُ عن المرايا الكرويَّةِ المقعَّرة

عندَ تحريكِ الجسمِ نحوَ مرآةٍ كرويَّةٍ مقعَّرةٍ، تتغيَّرُ خصائصُ صورتِه، كما في **الجدول 5-4**. إذا كانَ الجسمُ بعيدًا جدًّا عن المرآةِ، فإن الأشعَّةَ الصادرةَ منه والمنعكسةَ عن المرآةِ، تتقاطعُ في نقطةٍ قريبةٍ جدًّا من بؤرتِه $F$، لتكوِّنَ صورتَه هناك. في الأجسامِ الواقعةِ على مسافاتٍ أكبرَ من نصفِ قُطرِ تكوُّرِ المرآةِ $R$ (أي أبعدَ من مركزِ تكوُّرِها $C$)، تكونُ الصورةُ حقيقيَّةً ومقلوبةً وأصغرَ من حجمِ الجسمِ، وواقعةً بين $C$ و $F$. وإذا كان الجسمُ عندَ مركزِ التكوُّرِ ($C$) فتكونُ الصورةُ في ($C$) وهي صورةٌ حقيقيةٌ، وحجمُها بقدرِ حجمِ الجسمِ ومقلوبة. لكن إذا كانَ الجسمُ بين $C$ و $F$ فتكونُ صورتُه حقيقيَّةً ومقلوبةً وأكبرَ من حجمِ الجسمِ، وتقعُ أبعدَ من $C$. وإذا كانَ الجسمُ عندَ نقطةِ البؤرةِ، فلا تتكوَّنُ له صورةٌ. وإذا كانَ بينَ المرآةِ و $F$ فإن صورتَه تكونُ خياليَّةً ومعتدلةً ومكبَّرةً، وتقعُ خلفَ المرآةِ.

## الجدول 4-5 الصورُ الناتجةُ عن مرايا كرويَّةٍ مقعَّرةٍ

### مخطَّطاتُ الأشعَّةِ

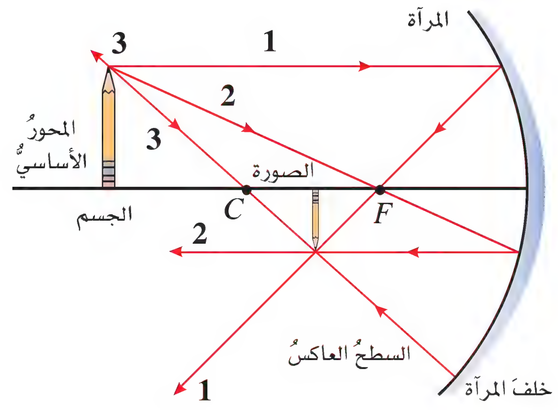
**.1**




**الحالة:** الجسمُ عندَ ما لا نهايةٍ.

**الصورة:** حقيقيَّةٌ عند $F$.

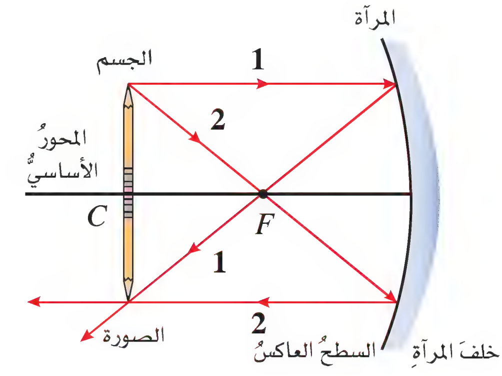
**.2**




**الحالة:** الجسمُ أبعدُ من $C$.

**الصورة:** حقيقيَّةٌ بين $C$ و $F$، ومقلوبةٌ، وتكبيرُها أقلُّ من واحدٍ.

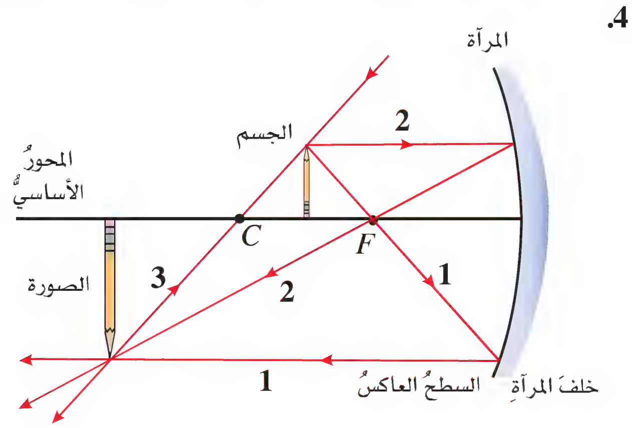
**.3**




**الحالة:** الجسمُ عند $C$.

**الصورة:** حقيقيَّةٌ عند $C$، ومقلوبةٌ، وتكبيرُها واحدٌ.

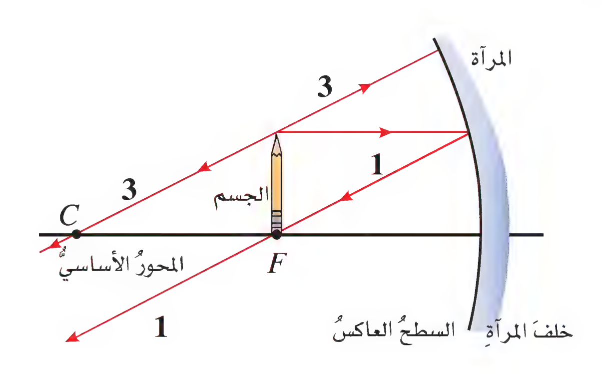
**.4**




**الحالة:** الجسمُ بين $C$ و $F$.

**الصورة:** حقيقيَّةٌ، وأبعدُ من $C$، ومقلوبةٌ، وتكبيرُها أكبرُ من واحدٍ.

**.5**




**الحالة:** الجسمُ عند $F$.

**الصورة:** عندَ اللانهايةِ (لا صورة).

**.6**

**الحالة:** الجسمُ بين $F$ والمرآةِ.

**الصورة:** خياليَّةٌ، ومعتدلةٌ خلفَ المرآة، وتكبيرُها أكبرُ من واحدٍ.

## مثال 5 (ب)

### صورُ المرايا الكرويّةِ المقعّرةِ

**المسألة**

**يبلغُ البُعدُ البؤريُّ لمرآةٍ مقعّرةٍ 10.0 cm، حدّدْ موقعَ صورةِ قلمِ رصاصٍ موجَّهٍ إلى أعلى، ويقعُ على مسافةِ 30.0 cm من المرآةِ. جدْ تكبيرَ الصورةِ.**

**الحـــلّ**

**1. أعرِّف**

**أحدّدُ إشارةَ البُعدِ البؤريّ ومقدارَهُ، وطولَ الجسمِ.**

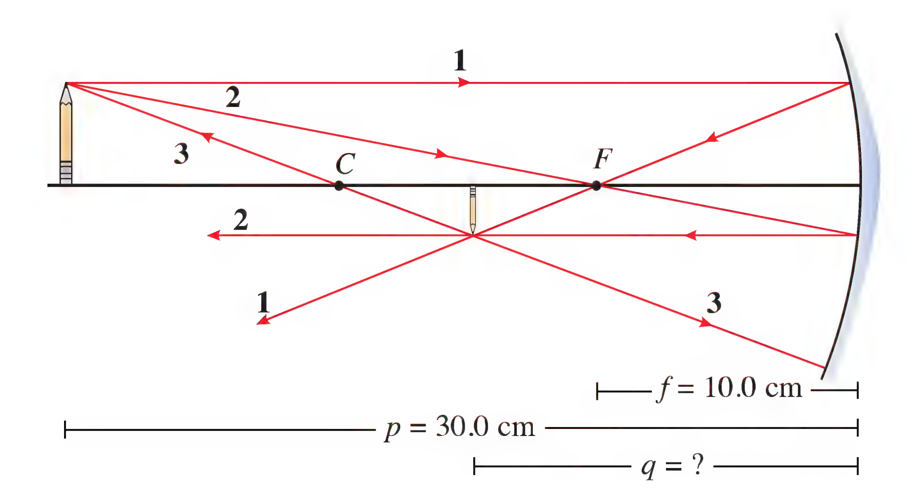
**المعطى:** $f = +10.0 \text{ cm}$ $\quad$ $p = +30.0 \text{ cm}$

المرآةُ مقعَّرةٌ، لذلك تكونُ $f$ موجبةً. الجسمُ أمامَ المرآةِ، لذلك تكونُ $p$ موجبةً.

**المجهول:** $q = ?$ $\quad$ $M = ?$

**2. أخطّط**

**- أرسمُ مخطَّطَ الأشعّةِ باستخدامِ قواعدِ الجدولِ 5-3:**




**- أستعملُ معادلةَ المرآةِ لربطِ بُعدِ الجسمِ والصورةِ عن المرآةِ بالبعدِ البؤريِّ.**

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

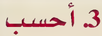
**- أستعملُ معادلةَ التكبيرِ بدلالةِ بُعدِ كلٍّ من الجسمِ والصورةِ عن المرآةِ.**

$$M = -\frac{q}{p}$$

**- أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ بُعدِ الصورةِ عن المرآةِ، وأحسبُ.**

أطرحُ مقلوبَ بُعدِ الجسمِ عن المرآةِ من مقلوبِ البُعدِ البؤريِّ، لإيجادِ تعبيرٍ عن بعدِ الصورةِ المجهولِ.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$



**3. أحسب**

**أعوِّضُ** بقيمِ $f$ و $p$ في معادلتَي المرآةِ والتكبيرِ، لإيجادِ بُعدِ الصورةِ وتكبيرِها.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{10.0\ \text{cm}} - \frac{1}{30.0\ \text{cm}} = \frac{0.100}{1\ \text{cm}} - \frac{0.033}{1\ \text{cm}} = \frac{0.067}{1\ \text{cm}}$$

$$\boxed{q = 15\ \text{cm}}$$

$$\boxed{M = -\frac{q}{p} = -\frac{15\ \text{cm}}{30.0\ \text{cm}} = -0.50}$$

**4. أُقيِّم**

**أقيِّمُ إجابتي بدلالةِ موقعِ الصورةِ وطولِها.**

تظهرُ الصورةُ بينَ نقطةِ البؤرةِ (10.0 cm) ومركزِ تكوُّرِ المرآةِ (20.0 cm) يؤكِّدُ ذلك مخطَّطُ الأشعةِ. الصورةُ أصغرُ من الجسمِ، وهي مقلوبةٌ $(-1 < M < 0)$، يؤكِّدُ ذلك مخطَّطُ الأشعةِ أيضًا. الصورةُ إذن حقيقيَّةٌ.

## تطبيق 5 (ب)

### صورُ المرايا الكرويَّةِ المقعَّرة

1. جدْ بُعدَ الصورةِ وتكبيرَ المرآةِ في المثالِ السابقِ، إذا كانَ بُعدُ الجسمِ عن المرآةِ 10.0 cm و 5.00 cm، هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ في كل حالةٍ؟ هل الصورتان معتدلتان أم مقلوبتان؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعَّةٍ لكلِّ حالةٍ، للتأكُّدِ من صحَّةِ إجابتِك.
2. لمرآةِ حلاقةٍ مقعَّرةٍ بعدٌ بؤريٌّ 33 cm. احسبْ موقعَ صورةِ زجاجةِ عطرٍ موضوعةٍ أمامَ المرآةِ على مسافةِ 93 cm، احسبْ تكبيرَ الصورةِ، هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ وهل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعةٍ لتحديدِ موقعِ الصورةِ، ومقدارِ تكبيرِها قياسًا على الجسمِ.
3. مرآةٌ مقعَّرةٌ، يقفُ رجلٌ أمامَها على بُعدِ 25.0 cm، تظهرُ له صورةٌ معتدلةٌ على مسافةِ 50.0 cm خلفَ المرآةِ. ما نصفُ قطرِ تكوُّرِ المرآةِ؟ وما تكبيرُ الصورةِ؟ هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟
4. وُضعَ قلمٌ على مسافةِ 11.0 cm من مرآةٍ مقعَّرةٍ، وتكوَّنَتْ له صورةٌ حقيقيَّةٌ على مسافةِ 13.2 cm من المرآةِ، ما البعدُ البؤريُّ للمرآةِ؟ ما تكبيرُ الصورةِ؟ إذا وُضعَ القلمُ على مسافةِ 27.0 cm من المرآةِ، فأينَ يصبحُ موقعُ الصورةِ؟ وما تكبيرُ الصورةِ الجديدةِ؟ هل الصورةُ الجديدةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعةٍ للتحقُّقِ من نتائجِك.

# المرايا الكرويَّةُ المحدَّبةُ

**المرآة الكرويَّةُ المحدَّبةُ**

مرآةٌ سطحُها العاكسُ هو السطحُ الخارجي للكرة.

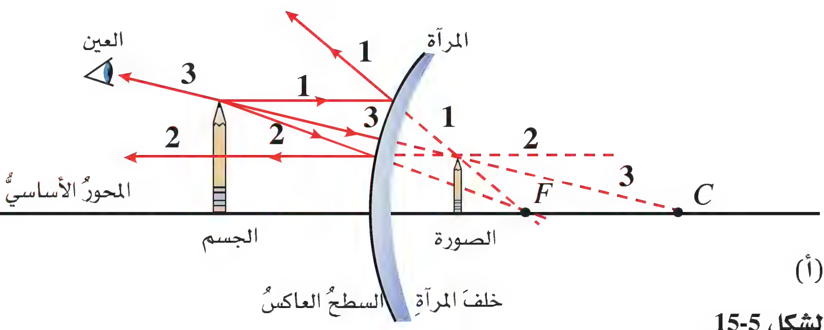
تُزوَّدُ السياراتُ الحديثةُ بمرايا جانبيَّةٍ للرؤيةِ الخلفيَّة. تختلفُ هذه المرايا عن المرايا المستويةِ التي تعطي صورًا غيرَ مكبَّرةٍ، ذلك أنها محدَّبةٌ قليلاً في وسطِها نحوَ الخارج. تبدو الصورةُ الناتجةُ من هذه المرايا أقربَ إلى المرآةِ وأصغرَ من الجسم. يُسمّى هذا النوعُ من المرايا **بالمرايا الكرويَّةِ المحدَّبةِ** convex spherical mirror.

المرآةُ الكرويَّةُ المحدَّبةُ جزءٌ من كرةٍ مطليَّةٍ بالفضَّةِ من داخلِها، يكونُ سطحُها الخارجيُّ المحدَّبُ هو السطحُ العاكسُ. يُسمّى هذا النوعُ من المرايا المرايا المفرِّقةَ، لأن الأشعَّةَ تتفرَّقُ بعدَ انعكاسِها على سطحِ المرآةِ، وكأنّها قادمةٌ من نقطةٍ ما خلفَ المرآةِ، فتكونُ الصورةُ الناتجةُ خياليَّةً دائمًا، وبُعدُ الصورةِ عن المرآةِ سالبًا. ولما كانَ السطحُ العاكسُ للمرآةِ يقعُ في الجهةِ المقابلةِ لنصفِ قطرِ التحدُّبِ، فإن البُعدَ البؤريَّ للمرآةِ الكرويَّةِ المحدَّبةِ يكونُ سالبًا. يلخِّصُ **الجدولُ 5-5** الإشاراتِ المتعارفَ عليها لكلِّ أنواعِ المرايا.

إن طريقةَ رسمِ مخطَّطاتِ الأشعَّةِ للمرايا المحدَّبةِ تختلفُ قليلاً عن حالةِ المرايا المقعَّرةِ. تقعُ نقطتا البؤرةِ ومركزِ التحدُّبِ خلفَ سطحِ المرآةِ. ويُعبَّرُ عن امتداداتِ الأشعَّةِ المعكوسةِ خلفَ المرآةِ بخطوطٍ متقطِّعةٍ، كما في **الشكل 5-15** (أ)، وذلك لعدمِ وجودٍ فعليٍّ للأشعَّةِ في تلك المنطقةِ. وتتكوَّنُ صورةٌ خياليَّةٌ معتدلةٌ في نقطةِ التقاطعِ المفترضةِ للأشعَّةِ الثلاثةِ المنعكسةِ. ويكونُ تكبيرُ المرآةِ المحدَّبةِ أقلَّ من واحدٍ دائمًا، كما يظهرُ في **الشكل 5-15 (ب)**.

تعطي المرايا الكرويَّةُ المحدَّبةُ للأجسامِ الواقعةِ في مجالِ رؤيتِها الواسعِ صورًا أصغرَ حجمًا. فهي تعطي المراقبَ الثابتَ مجالاً واسعًا للرؤيةِ. توضعُ المرايا المحدَّبةُ عادةً في المخازنِ الكبرى لمساعدةِ الموظَّفين على مراقبةِ حركةِ الزبائن. كما توضعُ عندَ تقاطعِ الممرّاتِ، بحيثُ يتمكَّنُ الأشخاصُ، قبلَ وصولِهم إلى التقاطعِ، من ملاحظةِ الآخرين القادمين من اتِّجاهٍ آخرَ.

وتُعدُّ المرآةُ الجانبيَّةُ للسيّارةِ مثالاً آخرَ على المرايا المحدَّبةِ. وغالبًا ما يكتبُ على هذه المرايا العبارةُ التاليةُ: «تبدو الأجسامُ أقربَ من موقعِها الحقيقيِّ». إذا لم يُكتبْ هذا التحذيرُ، فسوف يعتقدُ السائقُ أنه ينظرُ في مرآةٍ مستويةٍ لا تغيِّرُ من حجمِ الصورةِ. وقد يُخدعُ نتيجةً لذلك في اعتقادِه بأن المسافةَ بينَه وبينَ شاحنةٍ معيَّنةٍ أكبرُ من المسافةِ الحقيقيَّةِ، لأنه يرى صورةَ الشاحنةِ أصغرَ من الشاحنةِ نفسِها.






(ب)

**الشكل 5-15**

تتفرَّقُ الأشعَّةُ بعدَ انعكاسِها عن المرآةِ المحدَّبةِ (أ)، لتشكِّلَ صورةَ خياليَّةَ أصغرَ من الجسم دائمًا (ب).

**الجدول 5-5 الإشاراتُ المُعتمَدةُ للمرايا**

| الرمز | الحالة | الإشارة | |
|---|---|---|---|
| $p$ | الجسمُ أمامَ المرآةِ (جسمٌ حقيقيٌّ) | + | $p > 0$ |
| $q$ | الصورةُ أمامَ المرآةِ (صورةٌ حقيقيَّةٌ) | + | $q > 0$ |
| $q$ | الصورةُ خلفَ المرآةِ (صورةٌ خياليَّةٌ) | − | $q < 0$ |
| $R, f$ | مركزُ التكوّرِ أمامَ المرآةِ (مرآةٌ كرويَّةٌ مقعَّرةٌ) | + | $R > 0$ ، $f > 0$ |
| $R, f$ | مركزُ التكوّرِ خلفَ المرآةِ (مرآةٌ كرويَّةٌ محدَّبةٌ) | − | $R < 0$ ، $f < 0$ |
| $R, f$ | مرآةٌ بلا تكوّرٍ (مرآةٌ مستويةٌ) | ∞ | $R,f \rightarrow \infty$ |
| $h'$ | الصورةُ فوقَ المحورِ الأساسيِّ | + | $h, h' > 0$ |
| $h'$ | الصورةُ تحتَ المحورِ الأساسيِّ | − | $h > 0, h' < 0$ |

## هل تعلم؟

هناكَ حالاتٌ يكونُ فيها الجسمُ في مرآةٍ معيَّنةٍ صورةً مكوَّنةً خلفَ تلكَ المرآةِ بوساطةِ مرآةٍ أخرى. في هذه الحالاتِ يكونُ الجسمُ خياليًّا، وبُعدُه عن المرآةِ سالبًا. لم نضمِّن الجدولَ 5-5 حالةَ الأجسامِ الخياليَّةِ ($p < 0$)، وذلك لندرةِ حصولِها.

## مثال 5 (ج)

### المرايا الكرويَّةُ المحدَّبةُ

**المسألة**

**قلمُ رصاص أمامَ مرآةٍ محدَّبةٍ بعدُها البؤريُّ 8.00 cm، تتكوَّنُ له صورةٌ معتدلةٌ طولُها 2.50 cm على مسافةِ 4.44 cm خلفَ المرآةِ، جدْ موقعَ الجسمِ، وتكبيرَ الصورةِ، وطولَ القلم.**

**الحــلّ**

**1. أعرِّف**

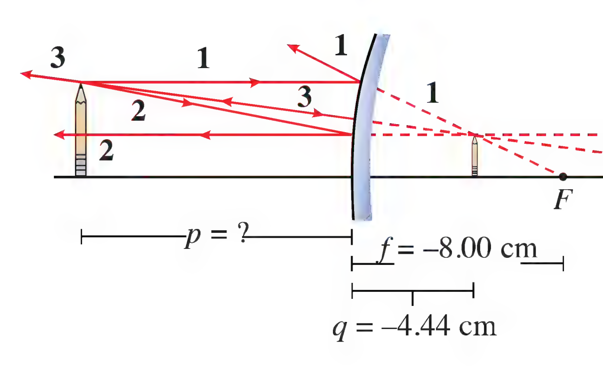
**المعطى:** $f = -8.00 \text{ cm}$ $\quad q = -4.44 \text{ cm}$ $\quad h' = 2.50 \text{ cm}$

بما أن المرآةَ محدَّبةٌ، فبعدُها البؤريُّ يكونُ سالبًا.

الصورةُ خلفَ المرآةِ. لذلك تكونُ $q$ سالبةً.

**المجهول:** $p = ?$ $\quad h = ?$ $\quad M = ?$

**المخطَّط:** أرسمُ مخطَّطَ الأشعَّةِ




**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ المرآةِ:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

أستعملُ معادلةَ التكبيرِ:

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهولِ:

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{q} \quad \text{و} \quad h = -\frac{p}{q}h'$$

**3. أحسب**

أعوِّضُ القيَمَ في المعادلاتِ وأحلُّ:

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{-8.00 \text{ cm}} - \frac{1}{-4.44 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{-0.125}{1 \text{ cm}} - \frac{-0.225}{1 \text{ cm}} = \frac{0.100}{1 \text{ cm}}$$

$$\boxed{p = 10.0 \text{ cm}}$$

أعوِّضُ عن قيَمِ كلٍّ من $p$ و $q$ لإيجادِ تكبيرِ الصورةِ.

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{-4.44 \text{ cm}}{10.0 \text{ cm}} = \boxed{0.444}$$

أعوِّضُ عن قيَمِ $p$ و $q$ و $h'$ لأجدَ طولِ الجسمِ.

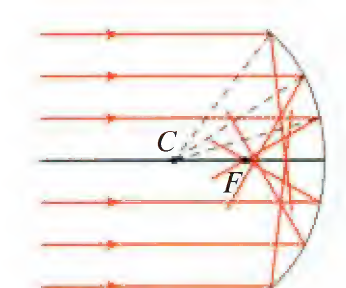
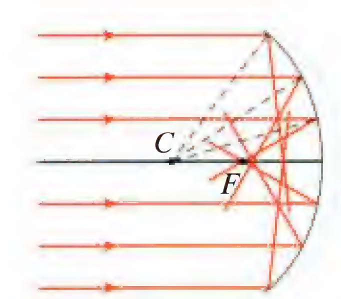
$$h = -\frac{p}{q}h' = -\frac{10.0 \text{ cm}}{-4.44 \text{ cm}}(2.50 \text{ cm}) = \boxed{5.63 \text{ cm}}$$

## تطبيق 5 (ج)

### المرايا الكرويَّةُ المحدَّبةُ

1. تَظهرُ صورةُ قلمٍ على مسافةِ 23.0 cm خلفَ مرآةٍ محدَّبةٍ، حيث يبلغُ طولُ الصورةِ 1.70 cm. إذا كانَ البعدُ البؤريُّ للمرآةِ 46.0 cm، فكم يكونُ بعدُ القلمِ عن المرآةِ؟ ما تكبيرُ الصورةِ؟ هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ هل الصورةُ معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟ ما طولُ القلمِ؟
2. مرآةٌ محدَّبةٌ بُعدُها البؤريُّ 0.25 m تُظهرُ صورةً طولُها 0.080 m لسيارةٍ، وذلك على مسافةِ 0.24 m خلفَ المرآةِ، ما تكبيرُ الصورةِ؟ وأين تقعُ السيارةُ؟ وما طولُها؟ هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ وهل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟
3. مرآةٌ محدَّبةٌ بعدُها البؤريُّ 33 cm تكوِّنُ صورةً لعبوةِ مرطَّباتٍ على مسافةِ 19 cm خلفَ المرآةِ، إذا كانَ طولُ الصورةِ 7.0 cm، فأينَ تقعُ العلبةُ؟ وكم يبلغُ طولُها؟ ما تكبيرُ الصورةِ؟ هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ هل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعةٍ للتحقُّقِ من نتائجِك.
4. مرآةٌ محدَّبةٌ نصفُ قطرِ تكوُّرِها 0.550 m معلَّقةٌ في ممرٍّ في متجرٍ، جد بُعدَ صورةِ رجلٍ مستلقٍ على الأرضِ يبعدُ 3.1 m تحتَ المرآةِ، وجِدْ تكبيرَ صورتِه. هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ هل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟
5. يبلغُ قطرُ قطعةِ زجاجٍ كرويَّةٍ 6.00 cm، إذا وُضعَ جسمٌ على مسافةِ 10.5 cm منها، فأين تتكوَّنُ الصورةُ؟ وما تكبيرُها؟ هل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ وهل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟
6. وُضعَتْ شمعةٌ على مسافةِ 49 cm أمامَ مرآةٍ كرويَّةٍ محدَّبةٍ بعدُها البؤريُّ 35 cm، أين تقعُ الصورةُ؟ ما تكبيرُها؟ هل هي حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟ وهل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعَّةٍ للتحقُّقِ من نتائجِك.

# مرايا القطوعِ المكافئة


**الشكل 5-16**
يحصلُ الزيغُ الكرويُّ عندَما تنعكسُ الأشعةُ المتوازيةُ والبعيدةُ عن المحورِ الأساسيِّ بعيدًا عن بؤرةِ المرآة.

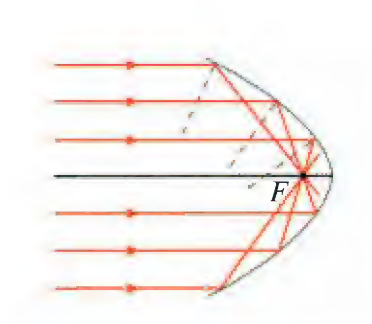
لاحظْتَ سابقًا أن بعضَ الأشعةِ المنعكسةِ في مخطَّطِ الأشعةِ لا تتقاطعُ في نقطةِ الصورة. يحدثُ ذلك بشكلٍ خاصٍّ للأشعةِ التي تنعكسُ عن سطحِ المرآة، بعيدًا عن المحورِ الأساسي. كما يحدُث ذلك لأشعةِ الضوءِ الحقيقيةِ والمرايا الكرويَّةِ الحقيقية.

لكن إذا انعكسَتِ الأشعةُ القادمةُ من جسمٍ قريبٍ من المحورِ الأساسيّ، فإنها تتقاطعُ جميعًا في نقطةِ الصورة. الأشعةُ المنعكسةُ عن المرآةِ بعيدًا عن المحورِ الأساسيِّ تتجمَّعُ في نقاطٍ مختلفةٍ وغيرِ متطابقةٍ على المحورِ الأساسي، كما في **الشكل 5-16**. ينتجُ عن ذلك صورةٌ مغشّاة. يُسمّى هذا التأثيرُ الزيغَ الكروي، وهو موجودٌ إلى درجةٍ ما في كل المرايا الكرويَّة.

## مرايا القطوعِ المكافئةِ والتخلُّصُ من الزيغِ الكرويّ

إحدى الطرقِ البسيطةِ للتقليلِ من تأثيرِ الزيغِ الكروي تكمنُ في استعمالِ مرآةٍ قطرُها صغير، بحيث لا تكونُ الأشعةُ بعيدةً عن المحورِ الأساسي. إذا كانَتِ المرآةُ كبيرةً في الأساس، فإن تغطيةَ الجزءِ الخارجيِّ من إطارِها وعزلَهُ يُقلِّلان الجزءَ العاكسَ منها وينتجان التأثيرَ نفسَه (أي تقليلَ الزيغِ الكروي). إلا أن الكثيرَ من المرايا المقعَّرةِ كالمرايا المستعملةِ في التلسكوبات الفلكية، تكونُ في العادةِ كبيرة، لتجمِّعَ كميةً كبيرةً من الضوء. لذلك لا ينبغي التقليل من المساحةِ المستعملةِ للمرآة، من أجلِ التقليلِ من الزيغِ الكروي. إحدى الطرقِ البديلةِ هي استعمالُ مرآةٍ ليسَت جزءًا من كرة، وقادرةٍ في الوقتِ نفسِه على تجميعِ الأشعةِ الضوئية، كما في حالةِ المرآة الكرويةِ المقعَّرةِ الصغيرة. يحصلُ ذلك باستعمالِ مرايا القطعِ المكافئ.

مرايا القطعِ المكافئ أجزاءٌ من مجسَّماتِ قطوعٍ مكافئة (في ثلاثةِ أبعاد)، يكونُ سطحُها الداخليُّ سطحًا عاكسًا. تنعكسُ كلُّ الأشعةِ الموازيةِ للمحورِ الأساسي، وتتجمَّعُ في نقطةِ البؤرة، بغضّ النظرِ عن بعدِها عن المحورِ الأساسي. لذلكَ نحصلُ على صورةٍ حقيقيةٍ بلا زيغٍ كروي، كما في **الشكل 5-17**. كما أن الأشعةَ القادمةَ من جسمٍ عند نقطةِ البؤرةِ لمرآةِ القطعِ المكافئ تنعكسُ موازيةً للمحورِ الأساسي. عاكساتُ القطوعِ المكافئةِ مثاليةٌ في مصابيحِ الجيبِ الكهربائية، والمصابيحِ الأماميةِ للسيارات.




**الشكل 5-17**
تتجمَّعُ كلُّ الأشعةِ المتوازية، بعدَ انعكاسِها، في بؤرةِ مرآةِ القطعِ المكافئ. الانحناءُ في الصورةِ أكبرُ بكثيرٍ من الانحناءِ في مرايا القطعِ المكافئِ الحقيقية.

## استعمال مرايا القطوعِ المكافئة في التلسكوباتِ العاكسة

يساعدُ التلسكوبُ في رؤيةِ الأجسامِ البعيدة، سواءٌ أكانَتْ مبانيَ تبعدُ عدةَ كيلومتراتٍ أم مجرَّاتٍ تبعدُ ملايينَ السنواتِ الضوئيةِ عن الأرض. ليسَتْ كلُّ التلسكوبات تستعمل الأشعةَ المرئية. وبما أن كلَّ الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيةَ تخضعُ لقانونِ الانعكاسِ نفسِه، فإن من الممكنِ بناءَ سطوحِ القطوعِ المكافئة لتجميعِ الإشعاعاتِ الكهرومغنطيسيةِ ذاتِ الأطوالِ الموجيةِ المختلفةِ وانعكاسِها. يتألفُ التلسكوب الراديويُّ مثلاً من سطحِ قطعٍ مكافئٍ معدنيٍّ كبيرٍ يعكسُ أمواجَ الراديو اللاسلكيةَ ويستقبلُ الموجاتِ الراديويةَ القادمةَ من أجسامٍ بعيدةٍ في الفضاء.

تستعملُ بعضُ أنواعِ التلسكوباتِ الأشعةَ المرئية. يُسمّى أحدُ هذه الأنواعِ *التلسكوبَ الكاسر، الذي* يستعملُ مجموعةً من العدساتِ لتكوينِ الصورة. بينما يستعملُ نوعٌ آخرٌ مرآةً كرويّةً وعدساتٍ صغيرةً لتكوينِ الصورة، ويُسمّى *التلسكوبَ العاكس.*

تستعملُ التلسكوباتُ العاكسةُ مرآةَ قطعٍ مكافئٍ (تُسمّى مرآةً شيئية)، من أجلِ تجميع الإضاءة. أحدُ أنواع التلسكوباتِ العاكسةِ ويُسمّى عاكسَ كاسيجرين، يظهرُ في **الشكل 5-18**. تدخلُ الأشعةُ المتوازيةُ أسطوانةَ التلسكوب، وتنعكسُ بوساطةِ مرآةِ قطعٍ مكافئٍ شيئية، عندَ قاعدةِ التلسكوب. تنعكسُ الأشعةُ باتجاهِ بؤرةِ المرآةِ الشيئية $F$، حيث يفترضُ تكوُّنُ صورةٍ حقيقيةٍ هناك. إلا أن مرآةً منحنيةً صغيرةً موضوعةً على مسارِ الأشعة تعيدُ انعكاسَها باتجاهِ مركزِ المرآةِ الشيئية. يعبرُ الضوءُ عندَها فتحةً صغيرةً في مركزِ المرآةِ الشيئية، حيث يتركّزُ عندَ نقطة A. تقومُ عينيّةٌ بالقربِ من النقطة A بتكبيرِ الصورة.

قد تتساءلُ عن إمكانيةِ فتح ثقبٍ في المرآةِ الشيئية من دونِ التأثيرِ في الصورةِ النهائيةِ التي يعطيها التلسكوب. يعكسُ كلُّ جزءٍ من أجزاءِ المرآةِ الضوءَ القادمَ من الأجسامِ البعيدة. لذلك يمكنُ دائمًا تكوينُ صورةٍ كاملة. إن وجود الثقبِ يقلِّلُ فقط من كميةِ الأشعةِ المنعكسة. وحتى ذلك لا يتأثرُ بوجودِ الثقب، لأن قدرةَ تجميعِ الضوءِ للمرآةِ الشيئيةِ لا تعتمدُ على مساحةِ المرآة. فثقبٌ قطرُه 1 m في مرآةٍ قطرُها 4 m يقلِّلُ مساحةَ العاكسِ بمقدار $\frac{1}{16}$ من المساحةِ الأساسية، أو 6.25 %.



**الشكل 5-18**
تجمّعُ مرآةُ القطعِ المكافئِ الشيئيةُ الأشعةَ القادمةَ نحوَ عاكسِ كاسيجرين.

## مراجعةُ القسم 5-3

**1.** كرةٌ فولاذيّةٌ نصفُ قطرِها 1.5 cm تكوّنُ صورةً لجسمٍ موضوعٍ على مسافةِ 1.1 cm من سطحِ المرآةِ. جدْ موقعَ الصورةِ وتكبيرَها. هل الصورةُ حقيقيّةٌ أم خياليّةٌ؟ هل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟ ارسمْ مخطَّطَ أشعّةٍ للتأكُّدِ من نتائجِك.

**2.** تُستعملُ مرآةٌ كرويّةٌ في آلةِ عرضٍ سينمائيّةٍ لتكوينِ صورةٍ مقلوبةٍ طولُها 95 مثْلاً من صورةِ الفيلمِ الأساسيَّةِ، تظهرُ الصورةُ على شاشةٍ تبعدُ 13 m عن المرآةِ. ما نوعُ المرآةِ المستعملةِ؟ وكم المسافةُ بينَها وبينَ الفيلمِ الأساسيِّ؟

**3.** أيٌّ من الصورِ التاليةِ حقيقيّةٌ؟ وأيُّها خياليّةٌ؟
أ. صورةُ مبنى بعيدٍ ومضيءٍ تمَّ تجميعُها على كرتونةٍ بيضاءَ، بوساطةِ تلسكوبٍ عاكسٍ.
ب. صورةُ سيارةٍ في مرآةِ رؤيةٍ خلفيَّةٍ مستويةٍ.
ج. صورةُ ممرٍّ متجرٍ في مرآةِ مراقبةٍ محدَّبةٍ.

# ملخّصُ الفصل 5

## مصطلحاتٌ أساسية

**الموجةُ الكهرومغنطيسية**
Electromagnetic wave (ص 112)

**الانعكاس** Reflection (ص 116)

**زاويةُ السقوط**
Angle of incidence (ص 117)

**زاويةُ الانعكاس**
Angle of reflection (ص 117)

**الصورةُ الخياليّة**
Virtual image (ص 118)

**المرآةُ الكرويّةُ المقعّرة**
Concave spherical mirror (ص 122)

**الصورةُ الحقيقية** Real image (ص 123)

**المرآةُ الكرويّةُ المحدّبة**
Convex spehrical mirror (ص 130)

## أفكارٌ أساسية

### القسم 5-1 خصائصُ الضوء

- الضوءُ إشعاعاتٌ كهرومغنطيسية تتألّفُ من مجالَين كهربائيٍّ ومغناطيسيٍّ مهتزَّين بأطوالٍ موجيةٍ مختلفة.
- محصّلةُ ضربِ تردُّدِ الإشعاعِ الكهرومغنطيسيِّ وطولِه الموجيّ يساوي سرعةَ انتقالِ الضوء $c = f\lambda$.
- تتناسبُ شدَّةُ الضوءِ عكسيًّا مع مربَّعِ المسافةِ من المصدرِ الضوئي.

### القسم 5-2 المرايا المستوية

- يخضعُ الضوءُ لقانونِ الانعكاسِ الذي ينصُّ على أن زاويتَي السقوطِ والانعكاس متساويتان.
- تُعطي المرايا المستويةُ الأجسامَ صورًا خياليةً لها البُعدُ نفسُه عن المرآة.
- يتغيّرُ عددُ الصورِ التي تنتجُها مرآتان متزاويتان بتغيُّرِ الزاويةِ بينهما.
- عند اقترابِ أو ابتعادِ مراقبٍ أمامَ مرآةٍ مستويةٍ تقتربُ أو تبتعدُ صورتُه خلفَ المرآةِ بالمسافةِ نفسِها.

### القسم 5-3 المرايا الكرويّة

- تربطُ معادلةُ المرآةِ بُعدَ الجسمِ عن المرآةِ وبُعدَ الصورةِ عنها بالبُعدِ البؤريِّ للمرآة.
- تربطُ معادلةُ التكبيرِ طولَ الصورةِ بطولِ الجسم، أو بُعدَها عن المرآةِ ببُعدِه.

**رموزُ المتغيِّراتِ**

| الكمّيَّة | رمزُ الكمّيَّة | رمزُ الوحدة | الوحدة |
|---|---|---|---|
| بُعدُ الجسمِ عن المرآةِ | $p$ | متر | m |
| بُعدُ الصورةِ عن المرآةِ | $q$ | متر | m |
| نصفُ قطرِ التكوُّر | $R$ | متر | m |
| البُعدُ البؤريُّ | $f$ | متر | m |
| التكبير | $M$ | بلا وحدة | |



# مراجعةُ الفصل 5

## راجعْ وقيِّمْ

## خصائصُ الضوء

### أسئلةُ مراجعة

**1.** أيٌّ من مناطقِ الطيفِ الكهرومغنطيسيِّ لها

أ. أقلُّ الترددات؟

ب. أقصرُ الأطوالِ الموجية؟

**2.** أيٌّ من الموجاتِ الكهرومغنطيسيةِ التاليةِ لها أعلى ترددات؟

أ. موجاتُ الراديو اللاسلكية

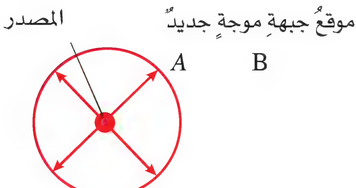
ب. الإشعاعاتُ فوقَ البنفسجية

ج. الضوءُ الأزرق

د. الإشعاعاتُ تحتَ الحمراء

**3.** لماذا يمكنُ استعمالُ الضوءِ عادةً لقياسِ المسافاتِ بدقة؟

**4.** استعمل في الشكلِ أدناه مبدأ هايغنز لتوضحَ أنَّ جبهة الموجةِ عندَ النقطةِ A لها الشكلُ نفسُه عندَ النقطةِ B. كيفَ تمثِّلُ جبهةُ الموجةِ هذه وفقَ التقريبِ الشعاعي؟




**5.** ما العلاقةُ بينَ شدَّةِ الإضاءةِ الحقيقيةِ لمصدرٍ ضوئيٍّ وشدَّةِ إضاءتِه، كما تراها أنت من موقعٍ ما؟

### أسئلةٌ حول المفاهيم

**6.** افترضْ وجودَ مجتمعٍ ذكيٍّ قادرٍ على إرسالِ الموجاتِ الراديويةِ واستقبالِها، ويعيشُ على كوكبٍ يدورُ حولَ النجمِ بروكيون الذي يبعدُ 95 سنةً ضوئيةً عن الأرض. إذا أرسلَتَ إشارةً باتجاهِ بروكيون عامَ 1999، ففي أيِّ سنةٍ على الأقلِّ تتوقَّعُ وصولَ إشارةٍ جوابيةٍ إلى الأرض؟ (ملاحظة: السنةُ الضوئيةُ هي المسافةُ التي يقطعُها الضوءُ في سنةٍ واحدة).

**7.** ما سرعةُ انتقالِ أشعةِ x في الفراغ؟

**8.** لماذا يتحدَّثُ روّادُ الفضاء، عند مراقبتِهم للمجرّاتِ البعيدة، عن الزمنِ الماضي؟

**9.** هل يتحتَّمُ أن تُصدِرَ النجومُ الأكثرَ إضاءةً خلالَ الليلِ ضوءًا أكثرَ من النجومِ التي تبدو أقلَّ إضاءة؟ علِّلْ إجابتَك.

### مسائلُ تطبيقية

**لحلِ المسائلِ 10-13، انظر المثال 5** (أ) (ص 114)

**10.** عيونُ النحلِ والحشراتِ الأخرى حسّاسةٌ جدًّا حيالَ الأشعَّةِ فوقَ البنفسجيةِ من الطيف، وخصوصًا الضوءَ الذي يقعُ تردُّدُه بين $7.5 \times 10^{14}$ Hz و $1.0 \times 10^{15}$ Hz. ما الطولُ الموجيُّ لهذَين التردُّدَين؟

**11.** يبلغُ تردُّدُ أشدِّ إضاءةٍ قادمةٍ من أحدِ النجوم $3 \times 10^{14}$ Hz. ما الطولُ الموجيُّ لهذا الضوء؟

**12.** ما الطولُ الموجيُّ لموجةِ راديو FM إذا كانَتَ قراءةُ الجهازِ 99.5 MHz؟

**13.** ما الطولُ الموجيُّ لإشارةِ رادار تردُّدُها 33 GHz؟

## المرايا المستوية

### أسئلةُ مراجعة

**14.** حدِّدْ لكلٍّ من الأجسامِ التالية ما إذا كانَ الضوءُ ينعكسُ بشكلٍ منتظمٍ أو غير منتظم.

أ. مدخلُ سياراتٍ إسمنتي

ب. بركةٌ ساكنة

ج. صينيةٌ مطليَّةٌ بالفضَّة

د. ورقة

هـ. عمودُ زئبقٍ في محرار

**15.** إذا انقطعَتْ بك السُّبُلُ في جزيرةٍ نائية، فكيف توجِّهُ مرآةً كي تستعملَ ضوءَ الشمسِ لإرشادِ طائرةِ استطلاع؟

**16.** ما خصائصُ الصورةِ التي تعطيها مرآيا مستويةٌ لشمعةٍ موضوعةٍ أمامَها؟

**17.** هل يحصلُ الانعكاسُ على مرآةٍ مستويةٍ نتيجةً لانتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخر؟ اشرحْ ذلك.

**18.** هل يؤدّي تغييرُ الزوايةِ بينَ مرآتَيْن مستويتَيْن إلى تغييرِ عددِ الصورِ الناتجةِ لمصدرٍ ضوئيٍّ بينَهما؟ اشرحْ ذلك.

**19.** إذا كنْتَ تقفُ على مسافة 2 m من مرآةٍ مستوية، فأين تتكوَّنُ صورتُك خلفَ المرآة؟ ما تكبيرُ الصورة؟

**20.** كيفَ يكونُ شكلُ الحزمةِ الضوئيَّةِ المنعكسةِ عن مرآةٍ مستويةٍ إذا كانَتِ الحزمةُ الضوئيَّةُ الساقطةُ عليها

أ. متوازيةً؟ أين يكونُ كلٌّ من الجسمِ والصورةِ عندَها؟

ب. متفرِّقةً؟ ماذا يكونُ نوعُ كلٍّ من الجسمِ والصورةِ (حقيقيّ أو خيالي) في هذه الحالة؟

ج. مجمَّعةً؟ ماذا يكونُ نوعُ كلٍّ من الجسمِ والصورةِ (حقيقيّ أو خيالي) في هذه الحالة؟

**21.** إذا كنْتَ تقفُ على مسافةٍ محدَّدةٍ أمامَ مرآةٍ مستويةٍ دائريةِ الشكلِ ذاتِ قطرٍ معروف، حدِّدْ بطريقةِ رسمِ الأشعَّةِ المنطقةَ من حولِكَ والمحيطةَ بك التي ترى صورتَها في المرآة. هل يمكنُ أن ترى صورَ الأشياءِ التي حولَك ولا ترى صورتَك في المرآة؟ متى يكونُ ذلك؟

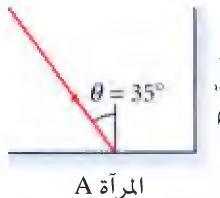
### أسئلةٌ حول المفاهيم

**22.** عندَما تضيءُ مصباحَ جيبٍ كهربائيًّا في غرفة، ترى بقعةً من الضوءِ على الحائط. لماذا لا ترى الضوءَ في الهواء؟

**23.** كيف يمكنُ لجسمٍ أن يكونَ عاكسًا منتظمًا لبعضِ الموجاتِ الكهرومغنطيسيةِ وغير منتظم لبعضِها الآخر؟

**24.** تُعلَّقُ مرآةٌ طولُها 0.85 m على جدار، بحيثُ يرتفعُ ضلعُها الأعلى مسافة 1.7 m عن سطحِ الأرض. استعملْ قانونَ الانعكاسِ ومخطَّطَ أشعة لتعرفَ ما إذا كانَ يمكنُ لشخصٍ طولُه 1.7 m أن يرى صورتَه بالكاملِ في المرآة.

**25.** يظهرُ الشكلُ المجاورُ مرآتَين مستويتَين، الزاويةُ بينَهما $90°$. يسقطُ شعاعٌ على المرآة A مكوِّنًا زاويةً مع الشاقولِ $35°$. استعملْ قانونَ الانعكاسِ لحسابِ زاويةِ الانعكاسِ عندَ المرآة B. ما الشيءُ غيرُ الطبيعيِّ في الشعاعَين الساقطِ والمنعكسِ لوضعِ المرآتين ذاك؟




**26.** إذا سرْتَ بسرعةِ 1.2 m/s باتجاهِ مرآةٍ مستوية، فما سرعةُ سيرِ صورتِك نحوَ المرآة. في أيِّ اتجاهٍ تبدو حركةُ صورتِك بالنسبةِ إليك؟

**27.** لماذا تبدو الصورةُ المكوَّنةُ على مرآتَين مستويتَين ومتقابلتَين أصغرَ فأصغرَ؟

**28.** يقتربُ صبيٌّ في اتّجاهِ مرآةٍ مستويةٍ بسرعة 1.0 m/s.

أ. بأيِّ سرعةٍ تقتربُ صورتُه من المرآة؟

ب. ما سرعةُ الصورةِ بالنسبةِ للصبيّ؟

ج. إذا توقّفَ الصبيُّ وتمّ تحريكُ المرآةِ في اتّجاهِ الصبيِّ بسرعة 1.0 m/s، بأيِّ سرعةٍ تتحرّكُ صورةُ الصبيِّ بالنسبةِ للمرآة؟

## المرايا الكرويّة

### أسئلةٌ مراجعة

**29.** أيُّ نوعٍ من المرايا يُستعملُ لإسقاطِ صورٍ سينمائيةٍ على شاشةٍ كبيرة؟

**30.** إذا وُضِعَ جسمٌ خلفَ بؤرةِ مرآةٍ مقعَّرة، فما نوعُ الصورةِ المكوَّنة؟ هل ستظهرُ تلك الصورةُ أمامَ المرآةِ أم خلفَها؟

**31.** هل يمكنُكَ استعمالُ مرآةٍ محدَّبةٍ لإحداث ثقبٍ في ورقة، عن طريقِ حرقِها بتجميعِ أشعةِ الشمسِ الضوئيةِ في بؤرتِها؟

**32.** تعطي المرآةُ المحدَّبةُ صورةً لجسمٍ حقيقي. هل يمكنُ لتلك الصورةِ أن تكونَ أكبرَ من الجسم؟

**33.** لماذا يُفضَّلُ استعمالُ مرايا القطوعِ المكافئةِ على المرايا الكرويةِ في التلسكوباتِ العاكسة؟

### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

**34.** كيف ينعكسُ الشعاعُ الضوئيُّ الموازي للمحورِ الأساسيِّ لمرآةٍ مقعَّرة عندَ اصطدامِه بسطحِ المرآة؟

**35.** ماذا يحدثُ للصورةِ الحقيقيةِ التي تكوِّنُها مرآةٌ مقعَّرة لجسمٍ ما، إذا تمَّ نقلُ الجسمِ إلى موضعِ الصورة؟

**36.** افترضْ مرآةً كرويةً مقعَّرةً وجسمًا حقيقيًّا. هل تكونُ الصورةُ مقلوبةً دائمًا؟ هل تكونُ حقيقيةً دائمًا؟ حدِّدْ شروطَ إجابتِك.

**37.** لماذا تكونُ شدَّةُ إضاءةِ الصورِ المكبَّرةِ أقلَّ من إضاءةِ الأجسامِ الأساسية؟

**38.** ما التجربةُ التي يمكنُكَ القيامُ بها لتتحقَّقَ إذا كانَتْ صورةُ جسمٍ ما حقيقيةً أو خياليّة؟

**39.** أُعطيتَ مرآةً مقعَّرةً قد تكونُ ذاتَ قطعٍ مكافئٍ وقد لا تكون. ما التجربةُ التي يمكنُكَ القيامُ بها للتحقُّقِ من ذلك؟

## مسائلُ تطبيقية

**لحلِّ المسألتَيْن 40، 41، انظرِ المثال 5 (ب) (ص 128)**

**40.** يبلغُ نصفُ قطرِ انحناءِ مرآةِ حلاقةٍ مقعَّرة 25.0 cm. جدِ التكبيرَ في كلٍّ من الحالاتِ التالية، وحدِّدْ ما إذا كانَتِ الصورةُ حقيقيةً أو خيالية،معتدلةً أو مقلوبة.

أ. قلمُ رصاصٍ منصوبٌ على مسافة 45.0 cm من المرآة

ب. قلمُ رصاصٍ منصوبٌ على مسافة 25.0 cm من المرآة

ج. قلمُ رصاصٍ منصوبٌ على مسافة 5.00 cm من المرآة

**41.** تُستعملُ مرآةٌ كرويةٌ مقعَّرة لإسقاطِ صورةٍ مكبَّرةٍ حقيقيةٍ لجسمٍ حقيقي على صفحةٍ ورقية. إذا كانَ البعدُ البؤريُّ للمرآة 8.5 cm، فأينَ يجبُ أن تضعَ الورقة، لتحصلَ على صورةٍ يكونُ بعدُها عن المرآة ضعفَ بُعدِ الجسم؟ هل الصورةُ معتدلة أم مقلوبة؟ حقيقيةٌ أم خيالية؟ ما تكبيرُ الصورة؟

**لحلِ المسألة 42، انظرِ المثال 5(ج) (ص 132)**

**42.** مرآةٌ محدَّبةٌ نصفَ قطرِ انحنائِها 45.0 cm تكوِّنُ صورةً ارتفاعُها 1.70 cm لقلمِ رصاص، وذلك على مسافةِ 15.8 cm خلفَ المرآة. احسبْ بُعدَ القلمِ عن المرآةِ وطولَه. هل الصورةُ حقيقيةٌ أم خيالية؟ ما تكبيرُها؟ هل هي معتدلة أم مقلوبة؟

## أسئلةُ مراجعة

**43.** يبلغُ تكبيرُ الصورةِ الحقيقيةِ لشجرةٍ على المرآةِ الأوليةِ لتلسكوب 0.085 – مرّة. إذا كانَ موقعُ تلك الصورةِ على مسافةِ 35 cm أمامَ المرآة، فما المسافةُ بينَ المرآةِ والشجرة؟ ما البُعدُ البؤريُّ للمرآة؟ ما نصفُ قطرِ انحناءِ المرآة؟ هل الصورةُ خياليةٌ أم حقيقية؟ هل هي معتدلةٌ أم مقلوبة؟

**44.** يقعُ مصدرٌ ضوئي على محورِ مرآةٍ مستويةٍ مربَّعةِ الشكل طولُ ضلعِها 80 cm. إذا كانَتِ المسافةُ بينَ المصدرِ والمرآةِ 30 cm، كيف يكونُ شكلُ وأبعادُ المنطقةِ المضيئةِ بواسطةِ الانعكاسِ، على حائطٍ موازٍ للمرآة، وعلى مسافةِ 40 cm خلفَ المصدرِ الضوئيّ؟

**45.** ينظرُ مراقبٌ طولُه 180 cm إلى صورتِه في مرآةٍ مستويةٍ وتكونُ المسافةُ بين عينَيْه والأرض 170 cm. كم يجبُ أن يكونَ أقلُّ ارتفاعٍ للمرآةِ وأبعدُ مسافةٍ من طرفِها السفليِّ عن الأرض، بحيثُ يستطيعُ المراقبُ رؤيةَ كاملِ صورتِه في المرآة؟

**46.** وضعَتْ شمعةٌ S على مسافتَيْن متساويتَيْن من مرآتَيْن مستويتَيْن OM و 'OM الزاويةُ بينَهما °240 .

أ. احصلْ بالرسمِ على صورة S في كلٍّ من المرآتَيْن، واحسبِ المسافةَ بينَ الصورتَيْن إذا كانَتِ المسافةُ بين S ونقطةِ تقاطعِ المرآتَيْن O، 50 cm.

ب. في أيِّ منطقةٍ يجبُ أن تقعَ S بحيثُ نحصلُ دائمًا على حزمٍ ضوئيَّةٍ منعكسةٍ من المرآتَيْن؟ ماذا يحصلُ لو كانَتْ S خارجَ المنطقة؟

**47.** لحاملةِ شموعٍ عاكسةٌ مقعَّرةٌ خلفَ الشمعة، كما في الشكل أدناه. تُكبِّرُ العاكسةُ الشمعةَ 0.75– مرّة، وتعطي صورةً لها على مسافةِ 4.6 cm أمامَ سطحِ العاكسة. هل الصورةُ مقلوبةٌ أم معتدلة؟ ما بُعدُ الشمعةِ عن العاكسة؟ وما البُعدُ البؤريُّ للعاكسة؟ هل الصورةُ خياليةٌ أم حقيقية؟



**48.** يحملُ طفلٌ إصبعَ حلوى على مسافةِ 15.5 cm أمامَ مرآةٍ محدَّبةٍ للرؤيةِ الخلفيةِ في سيّارة. يبلغُ طولُ الصورةِ نصفَ طولِ الإصبع. ما نصفُ قطرِ انحناءِ المرآة؟

**49.** وُضعَ مصباحٌ كهربائيٌّ متوهِّجٌ على بُعد 15 cm أمامَ مرآةٍ مقعَّرة، وتكوَّنَتْ له صورةٌ حقيقيةٌ على بُعد 8.5 cm من المرآة. إذا نُقلَ المصباحُ إلى مسافة 25 cm من المرآة، فأينَ يصبحُ موقعُ الصورة؟ هل الصورةُ الأخيرةُ حقيقيةٌ أم خيالية؟ ما تكبيرُ الصورتَين؟ هل الصورتانِ معتدلتانِ أم مقلوبتان؟

**50.** ثُبِّتَت مرآةٌ محدَّبةٌ في السقفِ عند تقاطعِ ممرَّين. إذا وقفَ شخصٌ تحتَ المرآةِ مباشرةً، بحيث كانَ حذاؤُه على مسافةِ 195 cm من المرآة، فإن صورةَ الحذاءِ تظهرُ على مسافةِ 12.8 cm خلفَ سطحِ المرآة. ما البُعدُ البؤريُّ للمرآة؟ ما تكبيرُ الصورة؟ هل الصورةُ حقيقيةٌ أم خيالية؟ هل هي معتدلةٌ أم مقلوبة؟

**51.** يبلغُ نصفُ قطرِ انحناءِ مرآةٍ جانبيةٍ لسيارة 11.3 cm. تعطي المرآةُ صورةً خياليةً حجمُها ثلثُ حجمِ الجسمِ الأساسي. كم يبعدُ الجسمُ عن المرآة؟

**52.** وُضعَ جسمٌ على مسافة 10.0 cm أمامَ مرآة. ما نوعُ هذه المرآةِ التي يمكنُ أن تكوِّنَ صورةً للجسمِ على حائطٍ يبعدُ 2.00 m عن المرآة؟ ما تكبيرُ الصورة؟ هل الصورةُ حقيقيةٌ أم خيالية؟ هل هي معتدلةٌ أو مقلوبة؟

**53.** بيِّنْ أنه، في حالِ كونِ نصفِ القطرِ لانحناءِ المرآةِ المستوية لا نهائيًّا، فإن معادلة المرآة تكونُ $p = -q$.

**54.** وُضعَ جسمٌ حقيقيٌّ عندَ الإشارة 0 لمسطرةٍ مترية. تعطي مرآةٌ مقعَّرةٌ كبيرة، موضوعةٌ عند إشارة 100.0 cm للمسطرة، صورةً للجسمِ عندَ إشارة 70.0 cm. بينما تعطي مرآةٌ محدَّبةٌ صغيرةٌ موضوعةٌ عندَ إشارة 20.0 cm صورةً نهائيةً للجسمِ عندَ إشارة 10.0 cm. ما نصفُ قطرِ انحناءِ المرآةِ المحدَّبة؟ (ملاحظة: تُعدُّ الصورةُ الأولى الناتجةُ عن المرآةِ المقعَّرةِ جسمًا للمرآةِ المحدَّبة.)

**55.** يقومُ أحد المتحمِّسين في سباقِ السياراتِ بطلاءِ خوَّذتِه نصفِ الكرويةِ من الخارجِ والداخل. عندَما ينظرُ إلى داخلِ الخوَّذة، يرى صورتَه على بُعد 30.0 cm خلفَها. وإذا نظرَ إلى خارجِها يرى صورةَ وجهِه على مسافة 10.0 cm خلفَ الخوَّذة.

أ. ما بُعدُ وجهِهِ عن الخوَّذة؟

ب. ما نصفُ قطرِ انحناءِ الخوَّذة؟

ج. ما تكبيرُ كل من الصورتين؟

د. هل الصورتانِ حقيقيّتانِ أم خياليتان؟

هـ. هل الصورتانِ معتدلتانِ أم مقلوبتان؟

**56.** يقفُ جسمٌ ارتفاعُه 2.70 cm على مسافة 12.0 cm أمامَ مرآة. ما نوعُ المرآةِ وما نصفُ قطرِ انحنائِها اللذان يُعطيانِ صورةً قائمةً ارتفاعُها 5.40 cm؟ ما تكبيرُ الصورة؟ هل الصورةُ حقيقيةٌ أم خيالية؟

## المشاريع والتقارير

1. اعمل، من خلال مجموعاتٍ متعاونة، لتستكشفَ استعمالَ مرايا الزوايا والأسقفَ كوسائلَ مراقبةٍ تعتمدُ التقنياتِ البسيطة. ضعْ خريطةً لأرض متجرٍ معروفٍ أو افتراضي. حدِّدِ المناطقَ التي يمكنُ مراقبتُها من خلالِ موظفٍ إذا تمَّ استعمالُ المرايا المستويةِ في الزوايا. إذا توفَّرَ لك استعمالُ المرايا الكروية، فماذا تستعمل: المرايا المقعَّرة أم المحدّبة؟ وأين تضعُها؟ حدِّدْ مناطقَ المتجرِ التي يمكنُ مراقبتُها بعدَ وضعِ المرايا المنحنيةِ في أماكنِها. اذكرْ أيَّ سلبياتٍ قد تنتجُ عن اختيارِك للمرايا.

2. قمْ ببحثٍ حولَ خصائصِ منطقةٍ محدَّدةٍ من الطيفِ الكهرومغنطيسي، وحولَ تأثيراتِها وتطبيقاتِها. احصلْ على معلوماتٍ حولَ مدى الأطوالِ الموجيةِ والتردُّداتِ الاصطناعيةِ لتلك الموجات، وطرقِ فحصِها. ادرسِ الأخطارَ الناتجةَ عن تلك الموجات، وعن استعمالاتها في التكنولوجيا. تعاونْ مع مجموعاتٍ أخرى تدرسُ مناطقَ أخرى من الطيف، لتقديمِ عملٍ جماعي، أو إعدادِ نشرةٍ إعلانيةٍ أو موقعٍ على شبكة الإنترنت يغطّي الطيفَ الكهرومغنطيسيَّ بأكملِه.

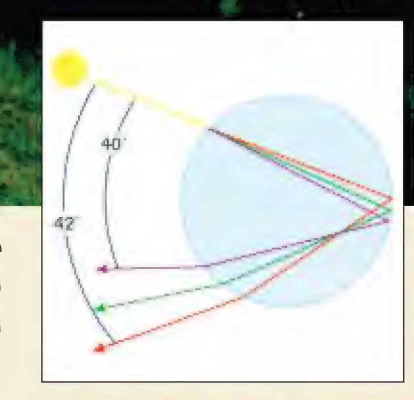
3. تحقَّقَ عالمُ الفلكِ الصينيُّ تشانج هينج من أنَّ ضوءَ القمرِ هو انعكاسٌ لضوءِ الشمس. وقامَ بتطبيقِ نظريتِه لتفسيرِ ظاهرةِ خسوفِ القمر. ارسمْ مخطَّطاتٍ تظهرُ ما يمكنُ أن يكونَ قد قامَ به هينج لتمثيلِ ضوءِ القمر، ومسارِ الضوءِ عندما تشغلُ الأرضُ والقمرُ والشمسُ مواقعَ مختلفةً في الليالي العادية، وفي الليالي التي يحصلُ فيها الخسوف. ابحثْ عن أعمالِ هينج العلميةِ الأخرى وقدِّمْ ما تجدُه، في تقريرٍ إلى صفِّك.

4. استكشفْ عددَ الصورِ التي تحصَلُ عليها عندَ وقوفِكَ بينَ مرآتَينِ مستويتَينِ يتقابلُ سطحاهما العاكسان. أينَ مواقعُ الصور؟ هل هي متطابقةُ الحجم؟ أجبْ عن تلك الأسئلةِ باستعمالِ الرسومِ والحسابات. بعد ذلك تفحّصْ نتائجَ حساباتِك في حالاتِ المرآتَينِ المتوازيتَين، والمرآتَينِ المتعامدتَين، والمرآتَينِ اللتينِ بينَ سطحَيهما زاويةٌ محدَّدة. أيُّ الزوايا تعطي صورةً واحدة، أو اثنتَين، أو ثلاثًا أو خمسًا أو سبعًا؟ لخِّص نتائجَك على لوحةٍ أو رسم، أو باستعمالِ الحاسوب.



# الفصل 6

# الانكسارُ
# *Refraction*




معظمُنا شاهدَ قوسَ قزح عندَ اصطدامِ أشعَّةِ الشمس بقطراتِ الماءِ في الهواءِ. تنحرفُ أشعَّةُ الشمسِ، أو تنكسرُ، عندَ مرورِها خلالَ قطرةِ الماءِ. يكونُ الانحرافُ الأقلُّ للموجاتِ الضوئيَّةِ ذاتِ الطولِ الموجيِّ الأطولِ (اللونِ الأحمرِ)، والانحرافُ الأكثرُ للموجاتِ ذاتِ الطولِ الموجيِّ الأقصرِ (اللونِ البنفسجيِّ).



## ما يتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستدرسُ في هذا الفصلِ الظواهرَ الضوئيَّةَ المتعلِّقةَ بانكسارِ الضوءِ عندَ انتقالِهِ من وسطٍ شفّافٍ إلى آخرَ. ستتعلَّمُ التعاملَ مع العدساتِ اللامّةِ والمفرِّقةِ، وتفهمُ طريقةَ عملِ الأجهزةِ البصريَّةِ بشكلٍ أفضلَ.

## ما أهميَّتُهُ

الأجهزةُ البصريَّةُ، كالكاميرا والمجهرِ والتلسكوب، توظِّفُ مبادئَ الانعكاسِ والانكسارِ لإنتاجِ صورٍ يمكنُنا استعمالُها في الكثيرِ من التطبيقاتِ العلميَّةِ والفنيَّةِ. إن فهمَ الطريقةِ التي تعملُ بها العدساتُ مهمٌّ جدًّا للقياساتِ البصريَّةِ.

## محتوى الفصل 6




# الانكسار
# *Refraction*

## 1-6 مؤشّراتُ الأداءِ

- يُحدّدُ الحالاتِ التي يحصلُ فيها انكسارُ الضوءِ.
- يُميّزُ اتّجاهَ انحرافِ الضوءِ عندَ انتقالِه من وسطٍ إلى آخرَ.
- يحلُّ مسائلَ باستعمالِ قانونِ سْنِل.

**الانكسار**

انحرافُ اتّجاهِ جبهةِ الموجةِ، عندَ انتقالِ الموجةِ بصورةٍ مائلةٍ بينَ وسطَيْن تكونُ فيهما سرعتا انتقالِ الموجةِ مختلفتَيْن.

## انكسارُ الضوءِ

انظرْ في **الشكل 1-6** إلى الصورةِ الصغيرةِ لزهرةٍ من خلالِ قطرةِ ماءٍ. تبدو صورةُ الزهرةِ خلفَ القطرةِ. لماذا تبدو الزهرةُ مختلفةً عندَ رؤيتِها من خلالِ القطرةِ؟ تحدثُ تلك الظاهرةُ، لأن الضوءَ ينحرفُ عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ الماءِ والهواءِ المحيطِ به. ويُسمّى انحرافُ الضوءِ، عند انتقالِه من وسطٍ إلى آخرَ، **الانكسارَ** refraction.

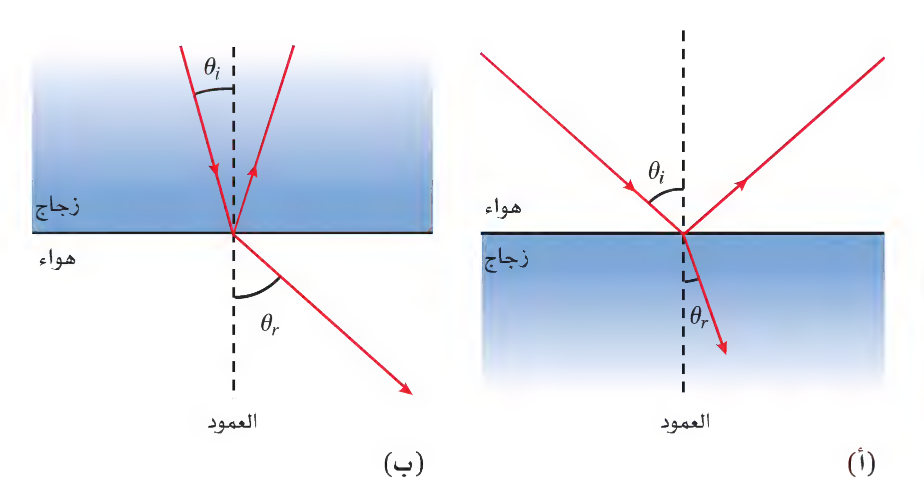
إذا انتقلَ الضوءُ من وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ آخرَ شفّافٍ بزاويةٍ غيرِ عموديّةٍ على السطحِ الفاصلِ، فإن اتّجاهَ الضوءِ ينحرفُ عندَ السطحِ، كما في حالةِ الانعكاسِ، كذلك في حالةِ الانكسارِ، تقاسُ زاويتا الشعاعَيْن الساقطِ والمنكسرِ بالنسبةِ إلى العمودِ على السطحِ الفاصلِ، وعندَ دراسةِ الانكسارِ يتمُّ مَدُّ العمودِ إلى الوسطِ الثاني، كما في **الشكل 2-6**. تُسمّى الزاويةُ بينَ الشعاعِ المنكسرِ والعمودِ المقامِ على السطحِ بزاويةِ الانكسارِ $\theta_r$، والزاويةُ بينَ الشعاعِ الساقطِ والعمودِ زاويةَ السقوطِ $\theta_i$.

### الانكسارُ وتغيُّرُ سرعةِ الضوءِ

الزجاجُ والماءُ والهواءُ والكوارتزُ أمثلةٌ على أوساطٍ شفّافةٍ يمكنُ للضوءِ اختراقُها. تختلفُ سرعةُ الضوءِ بينَ وسطٍ وآخرَ. فسرعةُ الضوءِ في الماءِ مثلاً أقلُّ من سرعتِه في الهواءِ. وسرعةُ الضوءِ في الزجاجِ أقلُّ منها في الماءِ.



**الشكل 1-6**
تبدو الزهرةُ أصغرَ عندَ النظرِ إليها من خلالِ قطرةِ ماءٍ. ينحرفُ الضوءُ القادمُ من الزهرةِ نتيجةً لشكلِ قطرةِ الماءِ، ولتغيُّرِ الوسطِ بدخولِ الضوءِ خلالَ الماءِ.




**الشكل 2-6**
عندَ انتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى آخرَ بصورةٍ مائلةٍ على السطحِ ينعكسُ جزءٌ منه، وينكسرُ الجزءُ الآخرُ. (أ) عندَ انتقالِ الضوءِ من الهواءِ إلى الزجاجِ، ينحرفُ الشعاعُ المنكسرُ مقترباً من العمودِ. (ب) عندَ انتقالِ الضوءِ من الزجاجِ إلى الهواءِ، ينحرفُ الشعاعُ المنكسرُ مبتعداً عن العمودِ.

عندَ انتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ سرعةُ الضوءِ فيه أقلُّ، كما في حالة الانتقالِ من الهواءِ إلى الزجاجِ، تنحرفُ الأشعَّةُ مقتربةً من العمود، كما في **الشكل 6-2** (أ). أما إذا انتقلَ الضوءُ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ سرعةُ الضوءِ فيه أكبرُ، كما في **الشكل 6-2** (ب)، فإن الشعاعَ ينحرفُ مبتعدًا عن العمود، وإذا كانَ الشعاعُ الساقطُ موازيًا للعمود، فلا يحدثُ انكسارٌ في كلتا الحالتَين.

لاحظْ مسارَ الضوءِ الذي يقطعُ الحدَّ الفاصلَ بينَ وسطَيْن. إذا أُطلقَ الشعاعُ في **الشكل 6-2** (أ) من الزجاجِ، فإنه سيتَّبعُ المسارَ نفسَه. لكنَّ الشعاعَ المنعكسَ يكونُ هذهِ المرَّةَ داخلَ الزجاجِ.

## تفسيرُ الانكسارِ على أساسِ النموذجِ الموجيِّ للضوءِ

تعلَّمْتَ في الفصلِ السابقِ (الضوءُ والانعكاسُ) كيف تُستعملُ جبهاتُ الموجاتِ والأشعَّةُ الضوئيَّةُ كمصادرَ للموجاتِ الضوئيَّةِ. يمكنُ تطبيقُ تلك الحالةِ عند انتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ. في **الشكل 6-3**، رُسمَتْ جبهاتُ الموجاتِ الكرويَّةِ باللونِ الأحمرِ. تُعدُّ مقدمةُ الموجةِ الموحَّدةُ (الخطُّ المقطَّعُ الذي يصلُ بينَ جبهاتِ الموجاتِ المتفرِّقةِ) مماسًّا مشتركًا لكلِّ جبهاتِ الموجاتِ، ويكونُ اتِّجاهُ انتقالِ الموجةِ (وهو ما نسمّيه الشعاعَ الضوئيّ) عموديًّا على المماسِّ.

افترضْ أن جبهاتِ الموجاتِ لموجةٍ مستويةٍ تنتقلُ بزاويةٍ معيَّنةٍ مع سطحِ قطعةِ الزجاجِ، كما في **الشكل 6-3**. عندَ دخولِ الضوءِ إلى الزجاجِ، تصبحُ جبهاتُ الموجاتِ أبطأَ، إلا أن الجبهاتِ التي لم تكُنْ قد وصلَتْ إلى الزجاجِ بعدُ، تتابعُ سيرَها بسرعةِ الضوءِ في الهواءِ، وخلالَ هذه الفترةِ، تقطعُ جبهاتُ الموجاتِ المتباطئةِ مسافةً أقصرَ، بالمقارنةِ مع جبهاتِ الموجاتِ التي ما تزالُ في الهواءِ. لذلكَ تغيِّرُ الموجةُ المستويةُ اتِّجاهَ سيرِها.

لاحظِ الفرقَ في الطولِ الموجيِّ (المسافةَ بينَ جبهاتِ الموجاتِ) بينَ الموجةِ المستويةِ المنتقلةِ في الهواءِ، والموجةِ التي دخلَتِ الزجاجَ. وبما أن انتقالَ جبهاتِ الموجاتِ داخلَ الزجاجِ أبطأُ، فتقطعُ، خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ نفسِها، مسافةً أقلَّ، مقارنةً مع جبهاتِ الموجاتِ التي ما تزالُ في الهواءِ، وبناءً على ذلك، يكونُ الطولُ الموجيُّ $\lambda_{\text{زجاج}}$ للضوءِ في الزجاجِ أقصرَ من الطولِ الموجيِّ $\lambda_{\text{هواء}}$ للأشعَّةِ الساقطةِ من الهواءِ. ولا يتغيَّرُ تردُّدُ الضوءِ لدى انتقالِهِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ.

**هل تعلم؟**

سرعةُ الضوءِ $c$ في الفراغِ ثابتٌ مهمٌّ في الفيزياءِ. ويبلغُ قياسُ هذهِ السرعةِ حوالي $3.00 \times 10^8$ m/s، أما في الأوساطِ الأخرى، كالهواءِ والماءِ والزجاجِ، فتكونُ سرعةُ الضوءِ أقلَّ من $c$.

(أ)

$v_{\text{هواء}}$

$\lambda_{\text{هواء}}$

هواء

زجاج

$\lambda_{\text{زجاج}}$

$v_{\text{زجاج}}$

(ب)

**الشكل 6-3**
موجةٌ مستويةٌ تنتقلُ في الهواءِ (أ) ولها طولٌ موجيٌّ $\lambda_{\text{هواء}}$ وسرعةُ انتقالٍ $v_{\text{هواء}}$. تنحرفُ كلُّ جبهةِ موجةٍ عندَ وصولِها إلى سطحِ الزجاجِ. وبما أن سرعةَ جبهاتِ الموجاتِ $v_{\text{زجاج}}$ في الزجاجِ (ب) أقلُّ، يكونُ الطولُ الموجيُّ في الزجاجِ أقصرَ. ويتغيَّرُ بذلك اتِّجاهُ انتقالِ جبهاتِ الموجاتِ.

## قانونا الانكسار

**مُعاملُ انكسارِ الوسطِ (n)**

نسبةُ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ إلى سرعتِه في وسطٍ شفَّافٍ.

إحدى الخصائصِ المهمَّةِ للموادِّ الشفَّافةِ هي **مُعاملُ الانكسارِ** index of refraction. القانون الأوّل: «مُعاملُ انكسارِ مادَّةٍ معيَّنةٍ هو نسبةُ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ إلى سرعتِه في تلك المادَّةِ».

**مُعاملُ الانكسارِ**

$$n = \frac{c}{v}$$

**مُعاملُ الانكسارِ** = **سرعةَ الضوءِ في الفراغِ** / **سرعةِ الضوءِ في الوسطِ (المادة)**

نرى، من خلالِ هذا التعريفِ، أن مُعاملَ الانكسارِ رقمٌ ليسَ له بُعدٌ. وهو دائمًا أكبرُ من واحدٍ، لأن سرعةَ الضوءِ في أيِّ وسطٍ أقلُّ من سرعتِه في الفراغِ. يُظهِرُ **الجدولُ 6-1** مُعاملَ الانكسارِ لموادَّ مختلفةٍ. لاحظْ أنه كلَّما كانَ مُعاملُ الانكسارِ أكبرَ، كانَ الضوءُ أبطأَ في المادةِ، وكانَ انحرافُه أكبرَ عندَ انتقالِه من الفراغِ إلى تلك المادةِ.

القانون الثاني: «الضوءُ المنتقلُ من الهواءِ (حيثُ سرعتُه في الهواء كبيرة ومُعاملُ انكسارِ الهواء أقلّ) إلى الماءِ (حيث سرعتُه أقل ومُعاملُ انكسارِ الماء أكبر)، ينحرفُ مقتربًا من العمود. وعلى العكسِ، لدى انتقالِ الضوءِ من الماءِ إلى الهواءِ، تنحرفُ الأشعَّةُ الضوئيَّةُ مبتعدةً عن العمود».

لاحظْ أن مُعاملَ انكسارِ الهواءِ قريبٌ جدًّا من مُعاملِ انكسارِ الفراغِ. للتبسيطِ، نستعملُ $n = 1.00$ للهواءِ عندَ حلِّ المسائلِ.

### هل تعلم؟

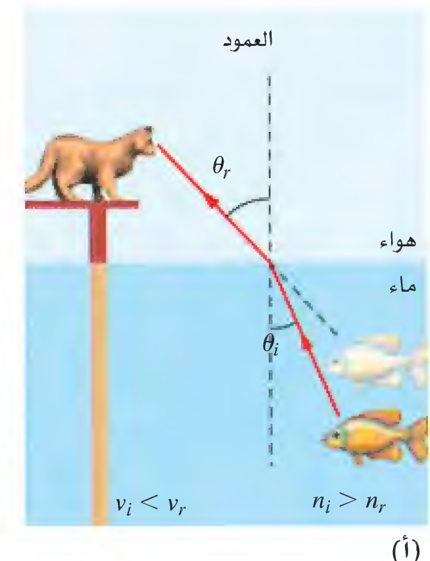
يُكتبُ مُعاملُ انكسارِ وسطٍ ما، كنسبةِ الطولِ الموجيِّ للضوءِ $\lambda_o$ في الفراغِ إلى الطولِ الموجيِّ $\lambda_n$ في الوسطِ المذكورِ، وفقًا للمعادلةِ

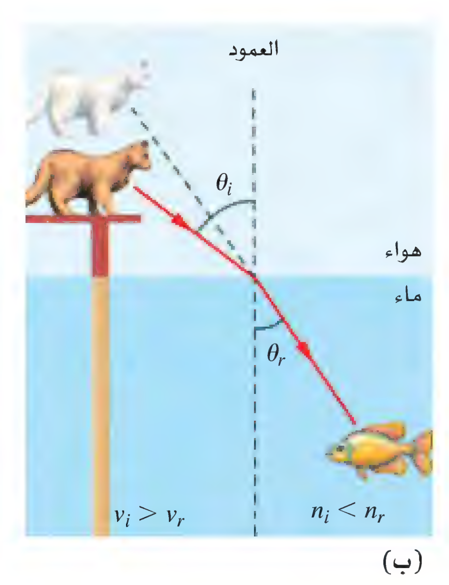
$$n = \frac{\lambda_o}{\lambda_n}$$

**الجدول 6-1 مُعاملُ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ**

| موادٌّ صُلبةٌ عندَ 20°C | n | موادٌّ سائلةٌ عندَ 20°C | n |
|---|---|---|---|
| مكعَّبُ أكسيدِ الزركونيوم | 2.20 | بنزين | 1.501 |
| ماس | 2.419 | ثنائي سالفايد الكربونِ (كبريتيدُ الكربونِ) | 1.628 |
| فلوريت | 1.434 | تتراكلورينُ الكربونِ | 1.461 |
| كوارتزٌ منصهرٌ | 1.458 | كحولٌ إثيليٌّ | 1.361 |
| زجاجٌ تاجيٌّ | 1.52 | جليسيرين | 1.473 |
| زجاجٌ صوانيٌّ | 1.66 | ماء | 1.333 |
| ثلج (عند 0°C) | 1.309 | **غازاتٌ عند 0°C وضغطٍ جوّيٍّ عاديٍّ** | **n** |
| بوليستيرين | 1.49 | هواء | 1.000 293 |
| كلوريدُ الصوديوم | 1.544 | ثنائي أكسيدِ الكربونِ | 1.000 450 |
| زركونيوم | 1.923 | | |

تمَّ قياسُ المعاملاتِ بضوءٍ طولُهُ الموجيُّ في الفراغِ 589 nm.



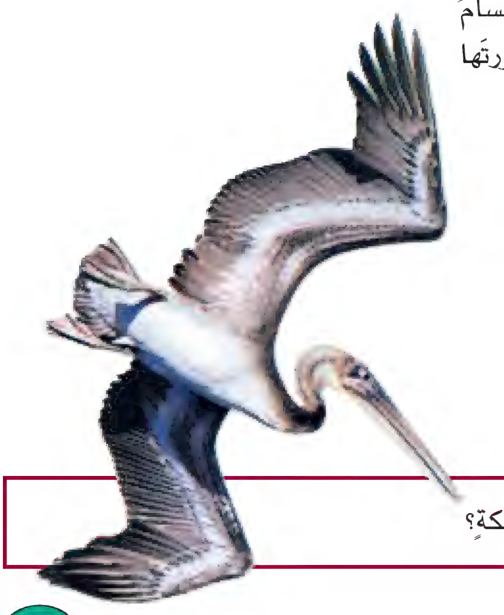

**الشكل 6-4**
(أ) الهرَّةُ الواقفةُ على الدعامة، ترى السمكةَ أقربَ إلى سطحِ الماءِ مما هي عليه فعلاً.
(ب) وترى السمكةُ الهرَّةَ أبعدَ عن سطحِ الماءِ ممّا هي فعلاً.

## ظهورُ الأجسامِ عندَ مواقعَ مختلفةٍ نتيجةَ الانكسارِ

عندما تنظرُ الهرَّةُ الواقفةُ على دعامةٍ إلى سمكةٍ داخلَ الماءِ، تلاحظُ أن السمكةَ تبدو أقربَ إلى سطحِ الماءِ من بُعدِها الحقيقيِّ، كما في **الشكل 6-4** (أ). وبالعكسِ، فإن السمكةَ ترى الهرَّةَ الجالسةَ على الدعامةِ على بُعدٍ ظاهريٍّ أبعدَ عن سطحِ الماءِ من بُعدِها الحقيقيِّ، كما في **الشكل 6-4** (ب).

نتيجةً لانعكاسيَّةِ الانكسارِ، تتمُّ رؤيةُ كلٍّ من الهرَّةِ والسمكةِ على المسارِ الضوئيِّ نفسِه في الشكلَيْن السابقَيْن، إلا أن الشعاعَ الضوئيَّ الذي يصلُ إلى السمكةِ يكونُ أقربَ إلى العمود من الشعاعِ الساقطِ من الهرَّةِ على سطحِ الماءِ، والسببُ هو أن الضوءَ ينحرفُ مقتربًا من العمود لدى انتقالِه من وسطٍ مُعاملُ انكسارِه مُنخفضٌ (الهواء) إلى وسطٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه أعلى (الماء)، ويشيرُ امتدادُ الشعاعِ الواصلِ إلى السمكةِ على خطٍّ مستقيمٍ إلى أن صورةَ الهرَّةِ تبدو ظاهريًّا أبعدَ من موقعِها الحقيقيِّ.

من ناحيةٍ أخرى، يُشكِّلُ الشعاعُ الذي يصلُ إلى الهرَّةِ من سطحِ الماءِ زاويةً أكبرَ مع العمود، لأن الضوءَ القادمَ من السمكةِ ينتقلُ من وسطٍ إلى آخرَ مُعاملُ انكسارِه أقلُّ. لاحظْ أن صورةَ السمكةِ تبدو أقربَ إلى سطحِ الماءِ ممّا هي فعلاً. لذلك تبدو الأجسامُ المغمورةُ في الماءِ، لدى مشاهدتِها من الهواءِ، أكبرَ من حجمِها الحقيقيِّ، لأن صورتَها التي لها الحجمُ نفسُه تبدو أقربَ إلى المُراقِبِ.



### الفيزياءُ والحياة

**اصطيادُ الأسماكِ** كيف يغطسُ طائرُ البجعِ عندَ محاولتِه التقاطَ سمكةٍ؟

## تأثيرُ معامل الانكسارِ بالطول ِالموجيِّ

لاحظْ أن مُعاملاتِ الانكسارِ الواردةَ في **الجدول 6-1** تصحُّ فقط في الضوءِ ذي الطولِ الموجيِّ 589 nm في الفراغ. مردُّ ذلك أن مقدارَ انحرافِ الضوءِ عندَ دخولِه وسطًا معيّنًا يعتمدُ على طولِه الموجيِّ وسرعتِه. لذلك يتكوَّنُ طيفٌ لدى دخولِ الضوءِ الأبيضِ في موشورٍ. ولما كانَ كلُّ لونٍ له طولٌ موجيٌّ مختلفٌ، فإن كلَّ لونٍ ينحرفُ بمقدارٍ مختلفٍ.

## تحديدُ زاويةِ الانكسارِ بوساطةِ قانونِ سْنِل

يُستعملُ مُعاملُ الانكسارِ لمادَّةٍ ما لتحديدِ مقدارِ انكسارِ الضوءِ لدى انتقالِه من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ. وكما ذكرنا آنفًا، كلما كَبُرَ مُعاملُ الانكسارِ، ازدادَ مقدارُ الانحرافِ. لكن كيف يمكنُ تحديدُ زاويةِ الانكسارِ؟

في عامِ 1621 أجرى ولبرورد سْنِل تجاربَ على الضوءِ المنتقلِ بينَ أوساطٍ مختلفةٍ، فطوَّرَ علاقةً سُمِّيَتْ بقانونِ سْنِل، يمكنُ استعمالُها للحصولِ على زاويةِ انكسارِ الضوءِ المنتقلِ بينَ وسطَين.

**قانونُ سْنِل**

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

**مُعاملُ انكسارِ الوسطِ الأول × جيبِ زاويةِ السقوطِ =**
**معاملَ انكسارِ الوسطِ الثاني × جيبِ زاويةِ الانكسارِ**

## مثال 6 (أ)

**قانونُ سْنِل**

### المسألة

**شعاعٌ ضوئيٌّ، طولُهُ الموجيُّ 589 nm منبعثٌ من مصباحِ صوديوم، ينتقلُ من الهواءِ إلى قطعةِ زجاجٍ تاجيٍّ بزاويةِ سقوطٍ $30.0^\circ$ مع العمود. احسبْ زاويةَ الانكسارِ.**

### الحلّ

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $\theta_i = 30.0^\circ$ $\quad n_i = 1.00$ $\quad n_r = 1.52$

**المجهول:** $\theta_r = ?$

**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ قانونِ سْنِل.

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

**3. أحسب**

$$\theta_r = \sin^{-1}\left[\frac{n_i}{n_r}(\sin \theta_i)\right] = \sin^{-1}\left[\frac{1.00}{1.52}(\sin 30.0^\circ)\right]$$

$$\boxed{\theta_r = 19.2^\circ}$$

## تطبيق 6 (أ)

### قانونُ سْنِل

**1.** جدْ زاويةَ انكسارِ شعاعٍ ضوئيٍّ ينتقلُ من الهواءِ إلى وعاءٍ فيه ماءٌ، بزاويةِ $25.0^o$ مع العمود. (ملاحظة: استعملِ الجدولَ 6-1.)

**2.** احسبِ القيمَ المجهولةَ في الجدولِ التالي، لشعاعٍ ساقطٍ طولُه الموجيُّ في الفراغِ 589 nm. (ملاحظةٌ: استعملِ الجدولَ 6-1.)

| | من وسطٍ | إلى وسطٍ | $\theta_i$ | $\theta_r$ |
|---|---|---|---|---|
| أ. | زجاجٌ صوانيٌّ | زجاجٌ تاجيٌّ | $25.0^o$ | ? |
| ب. | هواء | ? | $14.5^o$ | $9.80^o$ |
| ج. | هواء | الماس | $31.6^o$ | ? |

**3.** شعاعٌ ضوئيٌّ طولُهُ الموجيُّ في الفراغ 550 nm، ينتقلُ من الهواءِ إلى قطعةٍ شفَّافةٍ لمادَّةٍ معيَّنةٍ، تكونُ زاويتا السقوطِ والانكسارِ مع العمود $40.0^o$ و $26.0^o$ على التوالي، ما مُعاملُ انكسارِ القطعةِ الشفَّافةِ؟ (افترضْ أن مُعاملَ انكسارِ الهواءِ لضوءٍ طولُهُ الموجيُّ 550 nm هو 1.00.)

## مراجعةُ القسم 6-1

**1.** يدخلُ ضوءُ الشمسِ قطرةَ ماءٍ بزاويةِ $22.5^o$ مع العمود عندَ نقطةٍ معيَّنةٍ من القطرةِ. ما زاويةُ الانكسارِ؟

**2.** هل تنحرفُ الأشعَّةُ الضوئيةُ مقتربةً من العمود أم مبتعدةً عنه في كلٍّ من الحالاتِ التاليةِ؟

أ. $n_i > n_r$ حيث $\theta_i = 20^o$

ب. $n_i < n_r$ حيث $\theta_i = 20^o$

ج. من الهواءِ إلى الزجاجِ بزاويةِ سقوطٍ $30^o$

د. من الزجاجِ إلى الهواءِ بزاويةِ سقوطٍ $30^o$

**3.** جدْ زاويةَ انكسارِ الشعاعِ الضوئيِّ المُنتقلِ من الهواءِ إلى الماسِ بزاويةِ $15.0^o$ مع العمود (ملاحظةٌ: استعملِ الجدولَ 6-1).

**4.** **تفكيرٌ ناقدٌ:** في أيٍّ من الحالاتِ التاليةِ ينكسرُ الضوءُ الصادرُ من مصدرِ ليزرٍ؟

أ. لدى انتقالِه من الهواءِ إلى الماسِ بزاويةِ سقوطٍ $30^o$ مع العمود.

ب. لدى انتقالِه من الماءِ إلى الهواءِ في اتِّجاهِ العمود.

ج. لدى سقوطِه على سطحٍ معدنيٍّ.

د. لدى انتقالِه من الهواءِ إلى كوبٍ من الشايِ المثلَّجِ بزاويةِ $25^o$ مع العمود.




# العدساتُ الرقيقةُ
*Thin Lenses*

### 6-2 مؤشِّراتُ الأداءِ

- يستعملُ رسومَ الأشعَّةِ لإيجادِ موقعِ صورةٍ ناتجةٍ عن عدسةٍ لامَّةٍ، أو عدسةٍ مفرِّقةٍ، ويميِّزُ بين الصورةِ الحقيقيَّةِ والصورةِ الخياليَّةِ.
- يحلُّ مسائلَ باستعمالِ معادلةِ العدساتِ الرقيقةِ.
- يحسبُ تكبيرَ العدساتِ.
- يصفُ مواقعَ العدساتِ في المجهرِ المركَّبِ والتلسكوبِ العاكسِ.

**العدسة**

جسمٌ شفّافٌ يكسرُ الأشعَّةَ الضوئيَّةَ فيجمِّعُها أو يفرِّقُها ليكوِّنَ صورةً.

## أنواعُ العدساتِ

عندَما يدخلُ الضوءُ المنتشرُ في الهواءِ قطعةً من الزجاجِ، ينحرفُ مقتربًا من العمودِ، ولدى خروجِ الضوءِ من الزجاجِ إلى الهواءِ ثانيةً، ينحرفُ مرَّةً أخرى لكن بعيدًا عن العمودِ. وبما أن مقدارَ الانحرافِ هو نفسُه، بغضِّ النظرِ عمَّا إذا كانَ الضوءُ يدخلُ وسطًا أو يخرجُ منه، فإن انحرافَ الضوءِ لدى دخولِه قطعةَ الزجاجِ مساوٍ لانحرافِه لدى خروجِه منها.

### تغيُّرُ اتِّجاهِ الضوءِ عندَ السطوحِ المنحنيةِ

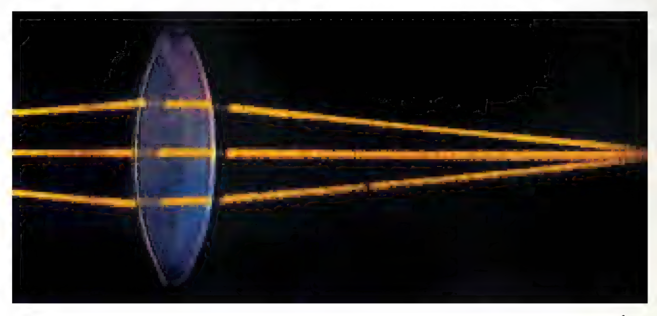
عندَما تكونُ سطوحُ وسطٍ معيَّنٍ منحنيةً، يتغيَّرُ اتجاهُ العمودِ على السطحِ من نقطةٍ إلى أخرى، لذلك حين يدخلُ الضوءُ وسطًا له سطحٌ منحنى أو أكثرُ، يتغيَّرُ مقدارُ انحرافِه بينَ نقطةٍ وأخرى. يُطبَّقُ هذا المبدأُ في أوساطٍ تُسمّى **العدساتِ** lenses، العدساتُ تُكوِّنُ صورًا، كما تفعلُ المرايا. لكنَّ ذلك يحصلُ بالانكسارِ وليسَ بالانعكاسِ، وقد تكونُ الصورُ الناتجةُ حقيقيَّةً أو خياليَّةً بحسبِ نوعِ العدسةِ وموقعِ الجسمِ. نذكِّرُ بأن الصورَ الحقيقيَّةَ تنتجُ من تقاطعٍ حقيقيٍّ للأشعَّةِ النافذةِ. أما الصورُ الخياليَّةُ، فتتكوَّنُ عندَ النقاطِ التي تبدو كأنها نقطةُ انطلاقٍ للأشعَّةِ، لكن ليسَتْ نقاطَ تقاطعٍ فعليٍّ لها. ويمكنُ رؤيةُ الصورِ الحقيقيَّةِ على شاشةٍ، ولا يمكنُ رؤيةُ الصورِ الخياليَّةِ عليها.

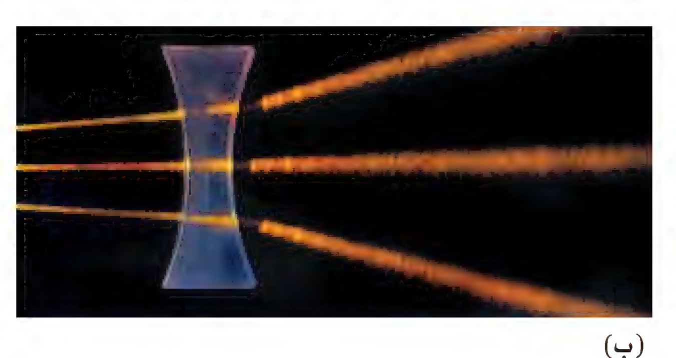
تُستعملُ العدساتُ على نطاقٍ واسعٍ في الأجهزةِ البصريَّةِ، كالكاميراتِ والمجاهرِ والتلسكوباتِ. يعملُ أحدُ الأنسجةِ الشفّافةِ في مقدِّمةِ العينِ كعدسةٍ تُجمِّعُ الأشعَّةَ الساقطةَ عليها عندَ الشبكيَّةِ في مؤخَّرةِ العينِ.

تتكوَّنُ العدسةُ النموذجيَّةُ من قطعةٍ زجاجيَّةٍ أو بلاستيكيَّةٍ، يُقطعُ سطحاها الكاسرانِ للضوءِ بشكلٍ كرويٍّ أو مستوٍ. يُظهرُ **الشكل 6-5** مثالَين على العدساتِ لهما شكلانِ مختلفانِ. العدسةُ السميكةُ عندَ وسطِها، مقارنةً مع أطرافِها كما في الشكل **6-5** (أ) هي مثالٌ على العدساتِ اللامَّةِ. أما العدسةُ الرقيقةُ عندَ وسطِها مقارنةً مع أطرافِها، كما في

**الشكل 6-5**

لدى مرورِ الأشعَّةِ الضوئيَّةِ خلالَ (أ) عدسةٍ لامَّةٍ (أسمكَ عندَ الوسطِ) فإنها تنحرفُ نحوَ الداخلِ (ب) وخلالَ عدسةٍ مفرِّقةٍ (أسمكَ عندَ الأطرافِ) فإنها تنحرفُ نحوَ الخارجِ.

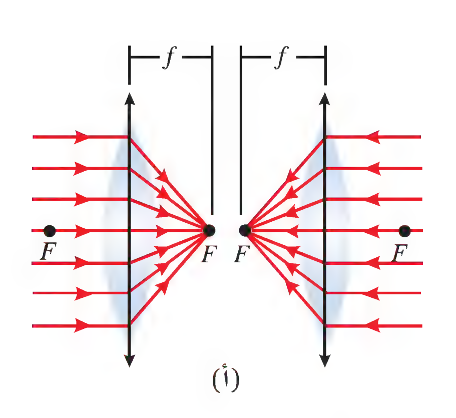

(أ)

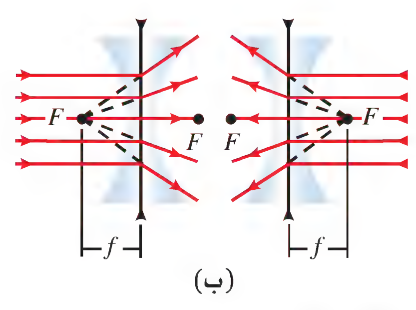

(ب)

**الشكل 6-5 (ب)** فهي أحدُ أمثلةِ العدساتِ المفرِّقةِ. تُظهرُ الأشعَّةُ الضوئيَّةُ سببَ تسميةِ العدسَتَيْن اللامَّةِ والمفرِّقةِ بهذَين الاسمَيْن.

## تكوُّنُ صورِ الأجسامِ البعيدةِ جدًّا عندَ البؤرةِ

كما في حالةِ المرايا، من المفيدِ تعريفُ نقطةٍ تُسمّى بؤرةَ العدسةِ. لاحظْ أن الأشعَّةَ القادمةَ من الأجسامِ البعيدةِ جدًّا تكونُ شبهَ متوازيَةٍ. تقعُ بؤرةُ العدسةِ اللامّةِ حيثُ تتكوَّنُ صورةُ جسمٍ بعيدٍ جدًّا عن العدسةِ. في **الشكل 6-6** (أ) مثلاً، تتجمَّعُ مجموعةٌ من الأشعَّةِ الموازيةِ للمحورِ الأساسيِّ في نقطةِ البؤرةِ $F$ بعدَ انحرافِها إلى الداخلِ بوساطةِ العدسةِ. وبخلافِ المرايا، يكونُ لكلِّ عدسةٍ بؤرةٌ من كلِّ جهةٍ، لأن الضوءَ يمكنُ أن ينفذَ خلالَها من الجهتَيْن، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 6-6**. وتُسمّى المسافةُ من نقطةِ البؤرةِ إلى العدسةِ البُعدَ البؤريَّ $f$. ويُمثِّلُ البُعدُ البؤريُّ بُعدَ الصورةِ عن العدسةِ للأجسامِ البعيدةِ جدًّا.




**الشكل 6-6**
كلٌّ من العدسةِ اللامَّةِ (أ) والعدسةِ المفرِّقةِ (ب) لها بؤرتانِ وبُعدٌ بؤريٌّ واحدٌ.

تتفرَّقُ الأشعَّةُ الموازيةُ للمحورِ الأساسيِّ بعدَ مرورِها خلالَ عدسةٍ مفرِّقةٍ، كما في **الشكل 6-6 (ب)**، وتعرَّفُ نقطةُ البؤرةِ في هذه الحالةِ على أنها النقطةُ التي تبدو مركزَ انطلاقِ الأشعَّةِ المتفرِّقةِ. ويكونُ البُعدُ البؤريُّ المسافةَ بينَ البؤرةِ والعدسةِ.

## تحديدُ موقعِ الصورةِ الناتجةِ عن عدسةٍ رقيقةٍ وطولِها، باستعمالِ رسومِ الأشعَّةِ

استعملنا في الفصلِ السابقِ مجموعةً من الأشعَّةِ المرجعيَّةِ في رسمِ الأشعةِ للتنبُّؤِ بخصائصِ الصورِ الناتجةِ عن المرايا الكرويَّةِ، وسنتَّبعُ الطريقةَ نفسَها في حالةِ العدساتِ.

نعلمُ، كما يظهرُ في **الشكل 6-5**، أن الانكسارَ يحصلُ عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ مادتَين لهما مُعامِلا انكسارٍ مُختلفان، لكن في حالةِ العدساتِ الرقيقةِ (التي يكونُ سمكُها صغيرًا بالمقارنةِ مع تكوُّرِها وبُعدِ الأجسامِ عنها) يمكنُنا التعبيرُ عن وجهَي العدسةِ بخطٍّ مستقيمٍ يمرُّ بمركزِها. وفي الرسمِ الشعاعيِّ للعدساتِ الرقيقةِ، نستعملُ خطًّا مستقيمًا مع سهمَيْن عند طرفَيْه، للتعبيرِ عن العدسةِ اللامَّةِ، كما في **الشكل 6-6 (أ)**. أما العدسةُ المفرِّقةُ فنعبِّرُ عنها بخطٍّ مستقيمٍ مع سهمَيْن مقلوبَيْن عند طرفَيْها، كما في **الشكل 6-6 (ب)**. عندَها يمكنُنا تنفيذُ رسومِ الأشعَّةِ، باستعمالِ القواعدِ الواردةِ في **الجدولِ 6-2**.

**الجدول 6-2 قواعدُ رسومِ الأشعَّةِ المرجعيَّةِ**

| الشعاع | من الجسمِ إلى العدسةِ | من العدسةِ اللامّةِ إلى الصورةِ | من العدسةِ المفرِّقةِ إلى الصورةِ |
|---|---|---|---|
| شعاعٌ موازٍ | موازٍ للمحورِ الأساسيِّ | يمرُّ خلالَ البؤرةِ $F$ | ينحرفُ كأنَّهُ قادمٌ من $F$ |
| شعاعٌ مركزيٌّ | يمرُّ بمركزِ العدسةِ | يتابعُ من مركزِ العدسةِ | يتابعُ من مركزِ العدسةِ |
| شعاعٌ بؤريٌّ | يمرُّ ببؤرةِ العدسةِ اللامَّةِ، أو يمرُّ امتدادُه ببؤرةِ العدسةِ المفرِّقةِ في الجهةِ المقابلةِ | موازٍ للمحورِ الأساسيِّ | موازٍ للمحورِ الأساسيِّ |

ما يؤكِّدُ صحةَ هذه القواعدِ المفاهيمُ التي اعتُمِدَتْ في هذا الكتابِ، فبناءً على تعريفِ نقطةِ البؤرةِ، نعرفُ أنَ الأشعَّةَ الساقطةَ على العدسةِ، وهي موازيةٌ للمحورِ الأساسيِّ (أشعَّةٌ متوازيةٌ)، ستتجمَّعُ في مركزِ البؤرةِ. وفي ما يتعلَّقُ بالعدسةِ اللامَّةِ، يعني ذلك أن الأشعَّةَ المنكسرةَ تتجمَّعُ فعلاً في نقطةِ البؤرةِ خلفَ العدسةِ. في هذا الكتابِ، نعني بمنطقةِ «أمامَ العدسةِ» حيثُ تسقطُ الأشعةُ الابتدائيَّةُ، وبمنطقةِ «خلفَ العدسةِ» المنطقةَ المقابلةَ، حيثُ توجدُ الأشعَّةُ المنكسرةُ. أما الأشعَّةُ الساقطةُ على العدسةِ المفرِّقةِ، وهي موازيةٌ لمحورِها الأساسيِّ، فتنكسرُ وكأنَّها قادمةٌ من نقطةِ البؤرةِ أمامَ العدسةِ. وبالنظرِ إلى انعكاسيَّةِ ظاهرةِ الانكسارِ، فإن الشعاعَ الساقطَ على العدسةِ اللامَّةِ مارًّا بإحدى بؤرتَيْها ينكسرُ موازيًا للمحورِ الأساسيِّ.

أما الشعاعُ الساقطُ على أيٍّ من العدستَيْن مارًّا بمركزِها، فإنه يتابعُ في خطٍّ مستقيمٍ دون أي انحرافٍ. يحدثُ ذلك لأن طرفَيِ العدسةِ متوازيان بالنسبةِ إلى أي خطٍّ يمرُّ بالمركزِ، وينسحبُ الأمرُ نفسُه على لوحٍ زجاجيٍّ، حيثُ يكونُ الشعاعُ الساقطُ على اللوحِ موازيًا للشعاعِ النافذِ منه. نُهملُ سمْكَ العدسةِ في رسومِ الأشعَّةِ، بحيث يتابعُ الشعاعُ المارُّ بمركزِها في خطٍّ مستقيمٍ، دون أي انحرافٍ جانبيٍّ.

# خصائصُ العدساتِ

## تكوُّنُ الصورِ الحقيقيَّةِ أو الخياليَّةِ لجسمٍ حقيقيٍّ بوساطةِ عدسةٍ لامَّةٍ

تُعطي العدسةُ اللامَّةُ لجسمٍ بعدُهُ عنها لانهائيٌّ صورةً في المستوى البؤريِّ، كما يوضحُ الرسمُ الأوَّلُ في **الجدول 6-3**. تكونُ الصورةُ حقيقيَّةً، بحيثُ يمكنُ رؤيتُها على شاشةٍ.

مع اقترابِ الجسمِ البعيدِ من البؤرةِ، تصبحُ الصورةُ أكبرَ وأبعدَ عن العدسةِ في الجهةِ المقابلةِ، كما توضحُ الرسومُ الثاني والثالثُ والرابعُ في **الجدول 6-3**. وعندما يصبحُ الجسمُ عندَ البؤرةِ، كما في الرسمِ الخامسِ، تنكسرُ الأشعَّةُ الصادرةُ عنه، وتغادرُ العدسةَ متوازيةً. وبما أن الجسمَ في المستوى البؤريِّ، يستحيلُ رسمُ شعاعٍ ثالثٍ يمرُّ بنقطةِ البؤرةِ والعدسةِ وأعلى نقطةٍ في الجسمِ.

عندَما يصبحُ الجسمُ بينَ العدسةِ والبؤرةِ، تصبحُ الأشعَّةُ المنكسرةُ من العدسةِ متباعدةً، كما في الرسمِ السادسِ من **الجدول 6-3**. تبدو الصورةُ الآنَ، لمراقبٍ خلفَ العدسةِ، في الجهةِ نفسِها من العدسةِ مثلَ الجسمِ. يحلِّلُ الدماغُ الأشعَّةَ المتفرِّقةَ تلك وكأنها قادمةٌ من جسمٍ يقعُ مباشرةً أمامَ الأشعَّةِ التي تصلُ إلى العينِ. لا يكونُ الرسمُ الشعاعيُّ لهذه الحالةِ بسهولةِ الحالاتِ السابقةِ في الجدولِ. فنرسمُ الشعاعَيْن الأوَّلَ الموازيَ للمحورِ الأساسيِّ، والثانيَ المارَّ بمركزِ العدسةِ، بالطريقةِ السابقةِ نفسِها. أما الشعاعُ الثالثُ، فيُرسمُ كما لو أنه منطلقٌ من البؤرةِ أمامَ العدسةِ، بحيث تقعُ البؤرةُ ورأسُ الجسمِ والعدسةُ على استقامةٍ واحدةٍ. ولتحديدِ موقعِ الصورةِ، أكملْ خطوطَ الأشعَّةِ النافذةِ إلى الخلفِ، باتِّجاهِ نقطةِ التقاطعِ التي تبدو نقطةَ انطلاقِها. هذه الخطوطُ هي الخطوطُ المقطَّعةُ في الشكلِ السادسِ من **الجدول 6-3**.

يلخِّصُ **الجدولُ 6-3** العلاقاتِ المحتملةَ بين موقعَيِ الجسمِ والصورةِ بالنسبةِ إلى عدسةٍ لامَّةٍ، حيث استُعملت قواعدُ رسمِ الأشعَّةِ المرجعيَّةِ في كلِّ حالةٍ. لاحظْ أن التطبيقاتِ العمليَّةَ لكلِّ حالةٍ وردَتْ مع رسمِ الأشعَّةِ الخاصِّ بها.

---

**نشاط عملي سريع**

### البُعدُ البؤريُّ

**الموادّ**

- ✓ عدسةٌ لامَّةٌ مكبِّرةٌ
- ✓ مسطرةٌ

**إرشاداتُ السلامة**

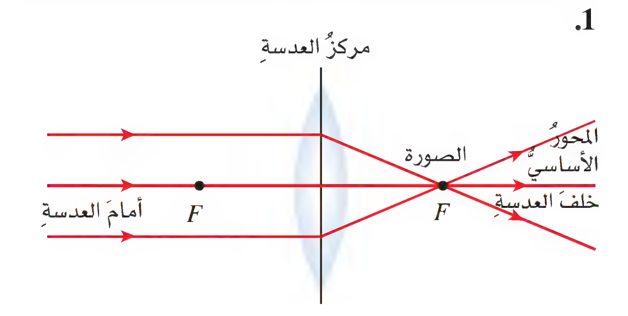
احذر تجميعَ ضوءِ الشمسِ على سطوحٍ قابلةٍ للاحتراقِ، أو على اليدَيْنِ أو الذراعَيْن. لا تنظرْ إلى الشمسِ من خلالِ العدسةِ المكبِّرةِ، فقد يؤدِّي ذلك إلى إصاباتٍ خطرةٍ.

في يومٍ مشمسٍ، سلِّطْ أشعَّةَ الشمسِ على سطحٍ غيرِ قابلٍ للاحتراقِ، كأرضِ ممرٍّ، بأن تُمسكَ بعدسةٍ مكبِّرةٍ لامَّةٍ للضوءِ، بحيث تظهرُ بقعةٌ ضوئيَّةٌ على السطحِ. حرِّكِ العدسةَ صعودًا ونزولاً حتى تصبحَ البقعةُ الضوئيَّةُ أكثرَ شدَّةً وأقلَّ حجمًا. استعملِ المسطرةَ لقياسِ المسافةِ بين العدسةِ والسطحِ. تمثِّلُ هذه المسافةُ البُعدَ البؤريَّ تقريبًا.

## الجدول 3-6 الصورُ الناتجةُ عن عدسةٍ لامَّةٍ

### رسومُ الأشعَّةِ

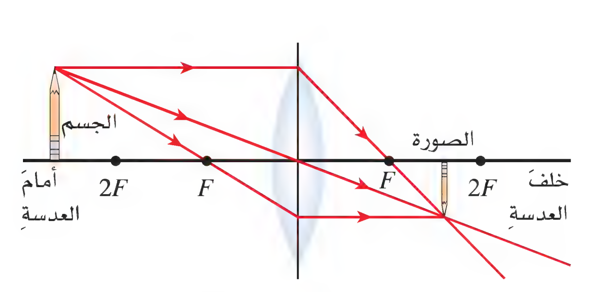
**.1**




**الحالة:** الجسمُ عندَ ما لا نهايةٍ، الصورةُ عند $F$.

**التطبيق:** حرقُ ثقبٍ بوساطةِ عدسةٍ مكبِّرةٍ (لامَّةٍ).

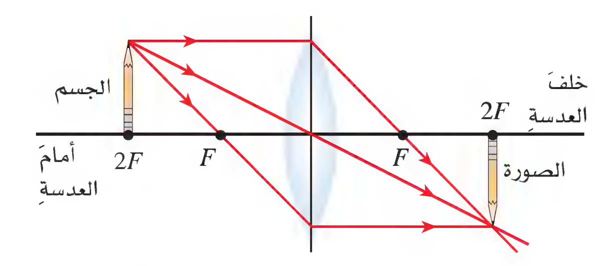
**.2**




**الحالة:** الجسمُ خلفَ $2F$، تتكوَّنُ صورةٌ حقيقيَّةٌ مقلوبةٌ أصغرُ من الجسمِ بين $F$ و $2F$.

**التطبيق:** عدسةُ كاميرا، وعدسةُ مقلةِ العينِ، والعدسةُ الشيئيَّةُ لتلسكوبٍ كاسرٍ للضوءِ.

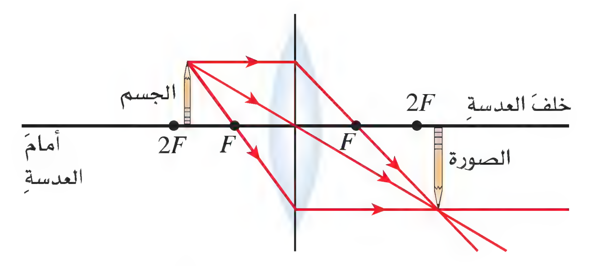
**.3**




**الحالة:** الجسمُ عند $2F$: تتكوَّنُ صورةٌ حقيقيَّةٌ مقلوبةٌ عند $2F$ بحجمِ الجسمِ نفسِه.

**التطبيق:** عدسةُ تلسكوبِ الميدانِ التي تقلبُ الصورةَ.

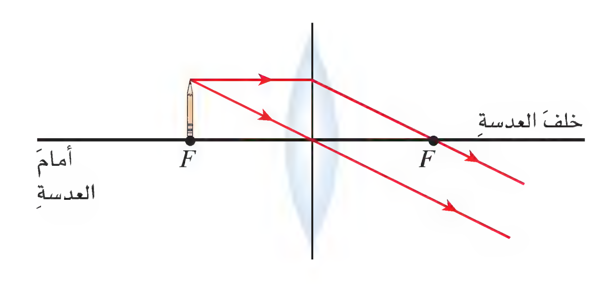
**.4**




**الحالة:** الجسمُ بين $F$ و $2F$، تتكوَّنُ صورةٌ حقيقيَّةٌ مقلوبةٌ ومكبَّرةٌ خلفَ $2F$.

**التطبيق:** الصورةُ المتحرِّكةُ أو الكاشفُ العلويُّ للشرائحِ، والعدسةُ الشيئيَّةُ للمجهرِ المركَّبِ.

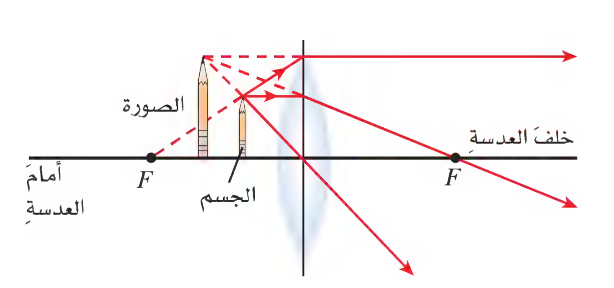
**.5**




**الحالة:** الجسمُ عند $F$، الصورةُ عندَ ما لا نهايةٍ.

**التطبيق:** العدساتُ المستعملةُ في المنارةِ والنورِ الكشّافِ.

**.6**

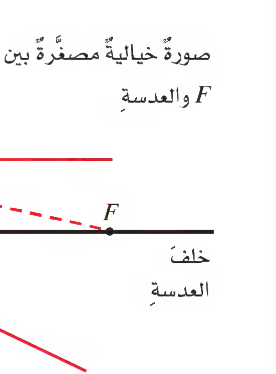



**الحالة:** الجسمُ بينَ $F$ والعدسةِ، الصورةُ مكبَّرةٌ وخياليَّةٌ ومعتدلة على الجهةِ نفسِها من العدسةِ مع الجسمِ.

**التطبيق:** التكبيرُ باستعمال عدسةٍ مكبِّرةٍ، وعينيَّةِ المجهرِ، وثنائيِّ العينيَّةِ، والتلسكوب.

### تكوينُ العدساتِ المفرِّقةِ لصورٍ خياليَّةٍ للأجسامِ الحقيقيَّةِ

تُكوِّنُ العدسةُ المفرِّقةُ صورةً خياليَّةً لأي جسمٍ حقيقيٍّ يوضعُ في أيِّ موقعٍ أمامَ العدسةِ. تكونُ الصورةُ معتدلةً ومصغَّرةً، حيث يكونُ تكبيرُها دائمًا أقلَّ من واحدٍ. كما أن موقعَ الصورةِ يكونُ بين العدسةِ والبؤرةِ مهما يكنْ موقعُ الجسمِ.




**الشكل 6-7**
الصورةُ الناتجةُ عن عدسةٍ مفرِّقةٍ تكونُ دائمًا خياليَّةً ومصغَّرةً.

تمَّ تنفيذُ رسمِ الأشعَّةِ في **الشكل 6-7** لعدسةٍ مفرِّقةٍ باستعمالِ القواعدِ الواردةِ في **الجدول 6-2**. الشعاعُ الأوَّلُ الموازي للمحورِ الأساسيِّ ينكسرُ وكأنه قادمٌ من البؤرةِ الواقعةِ على الجهةِ نفسِها من العدسةِ مع الجسمِ، ونعبِّرُ عن جزءٍ من هذا الشعاعِ بالخطِّ المقطَّعِ. يمرُّ الشعاعُ الثاني بمركزِ العدسةِ ولا ينكسرُ، وينطلقُ الشعاعُ الثالثُ وكأنه موجَّهٌ نحو البؤرةِ الواقعةِ خلفَ العدسةِ، وينكسرُ موازيًا للمحورِ الأساسيِّ، ويجبُ مدُّهُ إلى الخلفِ، كما هو موضَّحٌ في الخطِّ المقطَّعِ الأفقيِّ. يكونُ موقعُ رأسِ الصورةِ هو النقطةُ التي تبدو الأشعَّةُ المنكسرةُ قد انطلقَتْ منها.

## هل تعلم؟

تُكوِّنُ عدسةُ الكاميرا صورةً مقلوبةً على الفيلمِ المثبَّتِ في مؤخَّرِ الكاميرا. وهناك طريقتان حتى تكونَ الصورةُ المتكوِّنةُ على الفيلمِ معتدلةً:

في الطريقةِ الأولى نظامٌ من المرايا والمواشيرِ يجعلُ الصورةَ معتدلةً قبل سقوطِها على الفيلمِ.

أما في الطريقةِ الثانيةِ، فتوضعُ عدسةٌ مفرِّقةٌ منفصلةٌ عن جهازِ العدساتِ الرئيسِ. تُكوِّنُ هذه العدسةُ صورةً خياليَّةً معتدلةً تسقطُ على الفيلمِ.

# معادلتا العدساتِ الرقيقةِ والتكبيرِ

تُعطينا رُسومُ الأشعَّةِ تقديرًا جيدًا لحجمِ الصورِ وموقعِها، ويمكنُ حسابُ تلك القيمِ بمعادلةٍ تربطُ بين موقعَيِ الجسمِ والصورةِ من العدسةِ وهذه المعادلةُ تُسمّى معادلةَ العدساتِ الرقيقةِ، لأنها اشتقَّتْ بافتراضِ أن العدسةَ رقيقةٌ جدًّا. وتطبَّقُ هذه المعادلةُ حين يكونُ سمْكُ العدسةِ أقلَّ كثيرًا من بُعدِها البؤريِّ.

**معادلةُ العدساتِ الرقيقةِ**

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{\text{بُعدِ الجسمِ عن العدسةِ}} + \frac{1}{\text{بُعدِ الصورةِ عن العدسةِ}} = \frac{1}{\text{البُعدِ البؤري}}$$

عندما نستعملُ معادلةَ العدساتِ الرقيقةِ، غالبًا ما نوضِّحُها برسمِ أشعَّةٍ يكونُ سطحُ العدسةِ فيها مُمثَّلاً بخطٍّ رأسيٍّ طويلٍ ودقيقٍ. تذكَّرْ دائمًا أن الأشعَّةَ تنحرفُ عندَ سطحِ

العدسة، وأن رسمَ الأشعَّةِ الذي يوضحُ هذا الانحرافَ عند الخطِّ الرأسيِّ المركزيِّ هو نموذجٌ مثاليٌّ ينطبقُ بشكلٍ جيِّدٍ على حالةِ العدساتِ الرقيقةِ. إلا أن النموذجَ ورسمَ الأشعَّةِ يجبُ تعديلُهما في حالةِ العدساتِ السميكةِ، أو أنظمةِ العدساتِ، وكذلك في حالةِ الأجسامِ والصورِ البعيدةِ عن المحورِ الأساسيِّ.

ويمكنُ تطبيقُ معادلةِ العدساتِ الرقيقةِ على كلٍّ من العدساتِ اللامَّةِ والمفرِّقةِ، شرطَ الالتزامِ بقواعدِ الإشاراتِ المحدَّدِ في **الجدول 6-4**. وفقَ هذه القواعدِ، يكونُ موقعُ الصورِ الحقيقيَّةِ الواقعةِ خلفَ العدسةِ موجبًا، وموقعُ الصورِ الخياليَّةِ أمامَها سالبًا. كذلك يكون البُعد البؤريُّ للعدسةِ اللامَّةِ موجبًا، وللعدسةِ المفرِّقةِ سالبًا.

## اعتمادُ تكبيرِ العدسةِ على بُعدِ الجسمِ وبُعدِ الصورةِ

تذكَّرْ أن التكبيرَ ($M$) هو نسبةُ طولِ الصورةِ إلى طولِ الجسمِ. ويمكنُ استعمالُ المعادلةِ التاليةِ لحسابِ تكبيرِ العدساتِ اللامّةِ والمفرِّقةِ.

**تكبيرُ العدسةِ**

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

$$\text{التكبير} = \frac{\text{طولَ الصورةِ}}{\text{طولِ الجسمِ}} = -\frac{\text{بُعد الصورةِ عن العدسةِ}}{\text{بُعدِ الجسمِ عن العدسةِ}}$$

إذا تمَّ الالتزامُ بقواعدِ الإشاراتِ المُحدَّدةِ في **الجدول 6-4**، فإن التكبيرَ يعطي طولَ الصورةِ وهل هي مقلوبةٌ أو معتدلةٌ، إذا كانَ مقدارُ التكبيرِ أقلَّ من واحدٍ، تكونُ الصورةُ أقصرَ من الجسمِ. وإذا زادَ التكبيرُ على واحد، تكونُ الصورةُ أطولَ من الجسمِ.

وتدلُّ الإشارةُ السالبةُ للتكبيرِ على صورةٍ حقيقيَّةٍ ومقلوبةٍ. وتدلُّ إشارةُ التكبيرِ الموجبةُ على أن الصورةَ معتدلةٌ وخياليَّةٌ.

**الجدول 6-4 قواعدُ إشاراتِ العدساتِ**

| | + | − |
|---|---|---|
| $p$ | جسمٌ حقيقيٌّ أمامَ العدسةِ | جسمٌ خياليٌّ خلفَ العدسةِ |
| $q$ | صورةٌ حقيقيَّةٌ خلفَ العدسةِ | صورةٌ خياليَّةٌ أمامَ العدسةِ |
| $f$ | عدسةٌ لامَّةٌ | عدسةٌ مفرِّقةٌ |

## مثال 6 (ب)

**العدسات**

### المسألة

**وُضِعَ جسمٌ على مسافةِ 30.0 cm أمامَ عدسةٍ لامَّةٍ، ثم على مسافةِ 12.5 cm أمامَ عدسةٍ مفرِّقةٍ. البُعدُ البؤريُّ لكلٍّ من العدستَين 10.0 cm. جدْ بُعدَ الصورةِ والتكبيرَ في كل حالةٍ. صفِ الصورتَين.**

### الحـــلّ

**1. أعرِّف**

**المعطى:**

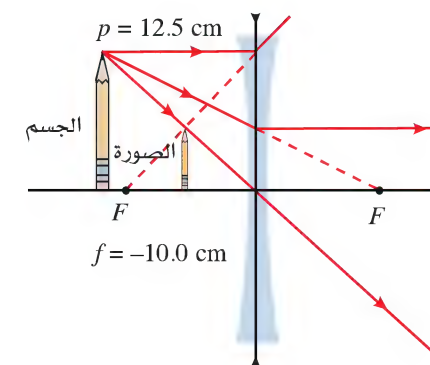
$f_{\text{اللامّة}} = 10.0\ \text{cm}$ $\quad$ $f_{\text{المفرِّقة}} = -10.0\ \text{cm}$

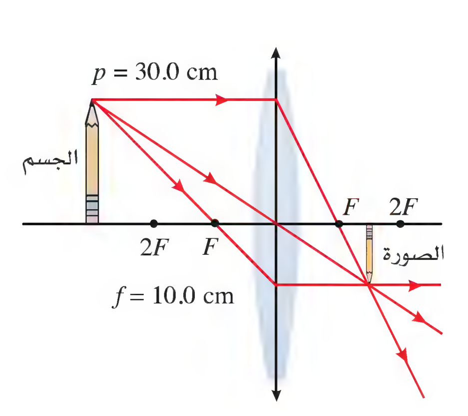
$p_{\text{اللامّة}} = 30.0\ \text{cm}$ $\quad$ $p_{\text{المفرِّقة}} = 12.5\ \text{cm}$

**المجهول:**

$q_{\text{اللامّة}} = ?$ $\quad$ $M = ?$ $\quad$ $q_{\text{المفرِّقة}} = ?$ $\quad$ $M = ?$

**رسمُ الأشعَّة**




**2. أخطِّط**

**أختارُ معادلةً أو موقفًا:** يمكنُ استعمال معادلةِ العدساتِ الرقيقةِ لتحديدِ موقعِ الصورةِ، ومعادلةِ التكبيرِ للحصولِ على طولِ الصورةِ وهل هي معتدلةٌ أم مقلوبةٌ.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \qquad M = -\frac{q}{p}$$

**أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهول:**

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

**3. أحسب**

**للعدساتِ الرقيقةِ: (العدسة اللامة)**

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{10.0\ \text{cm}} - \frac{1}{30.0\ \text{cm}}$$

$$\boxed{q = 15.0\ \text{cm}}$$

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{15.0\ \text{cm}}{30.0\ \text{cm}}$$

$$\boxed{M = -0.500}$$

للعدساتِ المفرِّقةِ:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{-10.0\ \text{cm}} - \frac{1}{12.5\ \text{cm}} = \frac{22.5}{125\ \text{cm}}$$

$$\boxed{q = -5.56\ \text{cm}}$$

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{-5.56\ \text{cm}}{12.5\ \text{cm}}$$

$$\boxed{M = 0.445}$$

**4. أقيّم**

تدلُّ القيمُ والإشاراتُ في حالةِ العدسةِ اللامَّةِ على صورةٍ حقيقيَّةٍ ومقلوبةٍ وأصغرَ من الجسمِ. وهذا متوقَّعٌ لأن بُعدَ الجسمِ عن العدسةِ يزيدُ على ضعفِ البُعدِ البؤريِّ للعدسةِ اللامَّةِ. وفي حالةِ العدسةِ المفرِّقةِ تدلُّ القيمُ والإشاراتُ على أن الصورةَ خياليةٌ ومعتدلةٌ، وتقعُ بينَ العدسةِ والبؤرةِ، وأصغرُ من الجسمِ. هذا النوعُ من الصورِ ينتجُ فقط عن عدسةٍ مفرِّقةٍ.

## تطبيق 6 (ب)

### العدسات

1. وُضعَ جسمٌ على مسافةِ 20.0 cm أمامَ عدسةٍ لامَّةٍ بُعدُها البؤريُّ 10.0 cm، ما بُعدُ الصورةِ عن العدسةِ، وما تكبيرُها؟ وهل الصورةُ حقيقيَّةٌ أم خياليَّةٌ؟
2. يقومُ أحدُ المحقّقين بتفحُّصِ دليلٍ مستعملاً عدسةً مكبِّرةً يمسكُها بيدِه على مسافةِ 10.0 cm من الدليلِ. البُعدُ البؤريُّ للعدسةِ 15.0 cm، احسبْ بُعدَ الصورةِ والتكبيرِ، وصفِ الصورةَ الناتجةَ.
3. وُضعَ جسمٌ على مسافةِ 20.0 cm أمامَ عدسةٍ مفرِّقةٍ بُعدُها البؤريُّ 10.0 cm، احسبْ بُعدَ الصورةِ والتكبيرَ، وصفِ الصورةَ.
4. املأ القيمَ الناقصةَ في الجدولِ التالي:

| | $f$ | $p$ | $q$ | $M$ |
|---|---|---|---|---|
| | **عدسةٌ لامَّةٌ** | | | |
| أ. | 6.0 cm | ? | – 3.0 cm | ? |
| ب. | 2.9 cm | ? | 7.0 cm | ? |
| | **عدسةٌ مفرِّقةٌ** | | | |
| ج. | – 6.0 cm | 4.0 cm | ? | ? |
| د. | ? | 5.0 cm | ? | 0.50 |

## نشاط عملي سريع

### النظّاراتُ الطبّيّةُ

**الموادّ**

✓ عدّةُ نظّاراتٍ طبّيّةٍ

ضعْ إحدى النظّاراتِ الطبّيةِ على مسافاتٍ مختلفةٍ من عينَيْك، وانظرْ من خلالِها إلى أجسامٍ مختلفةٍ. كرِّرْ ذلك مع نظّاراتٍ مختلفةٍ، كالتي تُستعملُ لتصحيحِ طولِ النظرِ وقصرِ النظرِ. وصفْ تأثيرَ ذلك في الصورِ التي تراها. إذا استعملتَ نظّارةً ذاتَ عدستَيْن، قارنْ بينَ الصورتَين اللتَيْنِ تراهما من خلالِ جزءَي النظّارةِ السفليِّ والعلويِّ.

# النظّاراتُ والعدساتُ اللاصقةُ

تعملُ المقدّمةُ الشفّافةُ للعينِ، والتي تُسمّى القرنيَّةَ، كعدسةٍ تجمِّعُ الأشعَّةَ باتجاهِ منطقةٍ حسّاسةٍ للضوءِ في مؤخّرِ العينِ تُسمّى الشبكيَّةَ. ومع أن معظمَ انكسارِ الضوءِ يحصلُ عندَ القرنيَّةِ، فالعينُ تحتوي على عدسةٍ صغيرةٍ تُسمّى العدسةَ الشفّافةَ، تساهمُ أيضًا في انكسارِ الضوءِ.

عندَما تحاولُ العينُ تركيزَ صورةٍ لجسمٍ قريبٍ، قد تتكوَّنُ الصورةُ خلفَ الشبكيَّةِ. يُسمّى هذا العيبُ البصريُّ طولَ النظرِ. يرى المصابُ بهذا العيبِ الأجسامَ البعيدةَ بشكلٍ واضحٍ، لكنَّه يرى الأجسامَ القريبةَ بشكلٍ غيرِ واضحٍ. سببُ العيبِ إما قِصَرٌ كبيرٌ في العينِ، وإما أن العضلاتِ الهدبيَّةَ لا تستطيعُ التحكُّمَ في شكلِ العدسةِ، لتركِّزَ الصورةَ بشكلٍ واضحٍ. يوضحُ **الشكل 6-5** كيف يُعالَجُ طولُ النظرِ باستعمالِ عدسةٍ لامَّةٍ.

هناك حالةٌ أخرى تُسمّى قِصَرَ النظرِ، تحصلُ عندَما تكونُ عدسةُ العينِ أطولَ من اللازمِ، أو عندَما يكون البُعدُ البؤريُّ الأقصى للعينِ غيرَ كافٍ لتكوينِ صورةٍ واضحةٍ على الشبكيَّةِ، حيث يتركَّزُ الضوءُ القادمُ من الأجسامِ البعيدةِ أمامَ الشبكيَّةِ. وما يميِّزُ هذه الحالةَ أن الأجسامَ البعيدةَ لا تُرى بشكلٍ واضحٍ، ويمكنُ تصحيحُ هذا العيبِ باستعمالِ عدسةٍ مفرِّقةٍ كما في **الجدول 6-5**.

العدسةُ اللاصقةُ عدسةٌ توضعُ مباشرةً فوقَ قرنيَّةِ العينِ، وهي تطفو على طبقةٍ رقيقةٍ من الدموعِ.

**الجدول 6-5 طولُ النظرِ وقصرُ النظرِ**

**طولُ النظرِ**



طولُ النظرِ — تصحيحُ طولِ النظرِ باستعمالِ عدسةٍ لامَّةٍ

**قِصرُ النظرِ**



قِصَرُ النظرِ — تصحيحُ قصرِ النظرِ باستعمالِ عدسةٍ مفرِّقةٍ

# تجميعُ العدساتِ الرقيقةِ

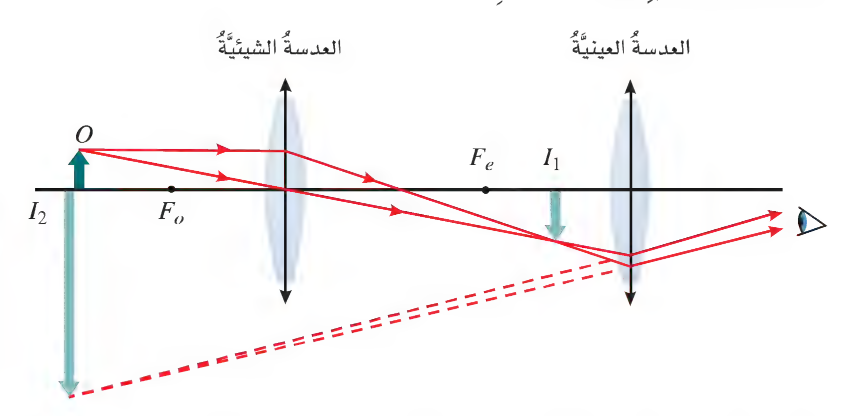
إذا استُعملتْ عدستان لإنتاجِ صورةٍ، يكونُ التعاملُ مع النظامِ كما يلي:

أولاً: يتمُّ تحديدُ الصورةِ من خلالِ العدسةِ الأولى، كما لو أن العدسةَ الثانيةَ غيرُ موجودةٍ.

ثانيًا: تسقطُ الأشعَّةُ على العدسةِ الثانيةِ، كما لو أنها قادمةٌ من الصورةِ المكوَّنةِ بوساطةِ العدسةِ الأولى، لذلك يتمُّ التعاملُ مع الصورةِ الناتجةِ من العدسةِ الأولى كجسمٍ للعدسةِ الثانيةِ، وتكونُ الصورةُ الناتجةُ عن العدسةِ الثانيةِ هي الصورةُ النهائيَّةُ للنظامِ المؤلَّفِ من العدستَيْن. والتكبيرُ النهائيُّ لنظامِ العدستَيْن هو حاصلُ ضربِ تكبيرَي العدستَيْن المنفصلتَين، وإذا وقعَتِ الصورةُ الناتجةُ عن العدسةِ الأولى خلفَ العدسةِ الثانيةِ، تُعدُّ هذه الصورةُ جسمًا خياليًّا للعدسةِ الثانيةِ (أي إن $p$ سالبةٌ). ويمكنُ استعمالُ الطريقةِ نفسِها لنظامٍ مؤلَّفٍ من ثلاثِ عدساتٍ أو أكثرَ.

## استعمالُ المجهرِ المركَّبِ لعدستَين لامّتَين

تستعملُ العدسةُ المكبِّرةُ البسيطةُ كوسيلةٍ محدودةٍ لتفحُّصِ تفاصيلِ الأجسامِ، ويمكنُ الحصولُ على تكبيرٍ أعظمَ بتجميعِ عدستَيْن في جهازٍ يُسمّى المجهرَ المركَّبَ. يتألَّفُ هذا المجهرُ من عدستَيْن لامَّتَيْن: عدسةٍ شيئيَّةٍ (أقربَ إلى الجسمِ) بُعدُها البؤريُّ أقلُّ من 1 cm؛ وعدسةٍ عينيَّةٍ بعدُها البؤريُّ عدةُ سنتيمتراتٍ. يوضِحُ **الشكلُ 6-8**، أن الجسمَ يوضعُ أبعدَ قليلاً من بؤرةِ العدسةِ الشيئيَّةِ، فتتكوَّنُ له صورةٌ حقيقيَّةٌ ومقلوبةٌ ومكبَّرةٌ، عندَ بؤرةِ العدسةِ العينيَّةِ، أو أقربَ قليلاً باتِّجاهِ العدسةِ، فتقومُ العدسةُ العينيَّةُ عندئذٍ بدورِ العدسةِ المكبِّرةِ، وتكونُ الصورةُ الأولى المكبَّرةُ جسمًا لهذه العدسةِ التي تُعطي بدورِها صورةً خياليَّةً أكثرَ تكبيرًا، وتكونُ الصورةُ النهائيَّةُ من خلالِ المجهرِ مقلوبةً بالنسبةِ إلى الجسمِ، كما في **الشكل 6-8**.



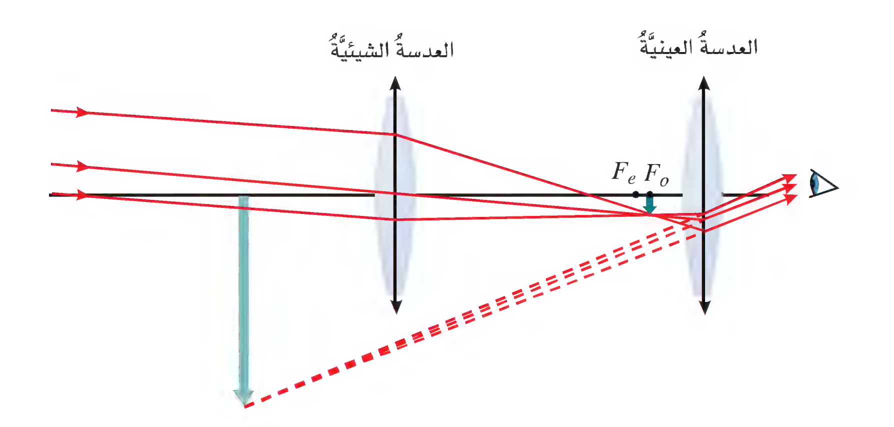

**الشكل 6-8**

في المجهرِ المركَّبِ، تعملُ الصورةُ الحقيقيَّةُ المقلوبةُ الناتجةُ عن العدسةِ الشيئيَّةِ كجسمٍ للعدسةِ العينيَّةِ.

طوَّرَ المجهرُ المركَّبُ نظرتَنا إلى عالمِ الأشياءِ المتناهيةِ في الصغرِ، والذي لم نكنْ نعرفُه من قبلُ. والسؤالُ المطروحُ حولَ المجهرِ هو: «هل نستطيعُ بكثيرٍ من الصبرِ والدقَّةِ إنتاجَ مجهرٍ يمكِّنُنا من رؤيةِ الذرَّةِ؟» إذا تمَّ استعمالُ الضوءِ المرئيِّ لإضاءةِ الجُسَيمِ يكونُ الجوابُ لا. لكي نتمكَّنَ من رؤيةِ جسمٍ تحتَ المجهرِ، يجب أن تكونَ أبعادُ الجسمِ على الأقلّ أصغرَ أو أكبرَ من الطولِ الموجيِّ للضوءِ. وبما أن أبعادَ الذرَّةِ أقلُّ من الطولِ الموجيِّ للضوءِ المرئيِّ بعدَّةِ أمثالٍ، فلا بدَّ من حلِّ اللغزِ الذرّيِّ بتقنياتٍ أخرى.

### استعمالُ العدستَيْن اللامّتَيْن في التلسكوباتِ (المراقيب) الكاسرةِ أيضًا

ذكرْنا في فصلِ الضوءِ والانعكاسِ، أن هناك نوعَين من التلسكوبات، هما التلسكوبُ العاكسُ للضوءِ والتلسكوبُ الكاسرُ. في التلسكوبِ الكاسرِ، تتكوَّنُ الصورةُ عندَ العينِ بطريقةٍ مشابهةٍ جدًّا لحالةِ المجهرِ، وتتكوَّنُ أوّلاً صورةٌ صغيرةٌ ومقلوبةٌ في بؤرةِ العدسةِ الشيئيَّةِ $F_0$، فالجسمُ يقعُ فعليًّا عندَ ما لا نهايةٍ. وتثبَّتُ العدسةُ العينيَّةُ بحيثُ تكونُ بؤرتُها قريبةً جدًّا من بؤرةِ العدسةِ الشيئيَّةِ، حيث تتكوَّنُ الصورةُ الأولى كما في **الشكل 6-9**. وبما أن الصورةَ الآن تقعُ داخلَ بؤرةِ العدسةِ العينيَّةِ $F_e$، فهذهِ العدسةُ تؤدّي دورَ المكبِّرِ البسيطِ، مما يمكِّنُ الناظرَ من تفحُّصِ الجسمِ بالتفصيل.




**الشكل 6-9**
الصورةُ التي تعطيها العدسةُ الشيئيَّةُ في التلسكوبِ الكاسرِ تكونُ حقيقيَّةً ومقلوبةً وتقعُ عندَ البؤرةِ. تعملُ هذه الصورةُ كجسمٍ للعدسةِ العينيَّةِ التي تنتجُ لها صورةً خياليَّةً مكبَّرةً.

## مراجعةُ القسم 6-2

**1.** ما نوعُ الصورةِ التي تكوِّنُها القرنيَّةُ والعدسةُ على الشبكيَّةِ؟

**2.** هل الصورةُ الناتجةُ في كلٍّ من الحالاتِ التاليةِ حقيقيةٌ أم خياليَّةٌ؟
أ. جسمٌ أقربُ إلى عدسةِ كاميرا من بؤرتِها.
ب. جسمٌ أبعدُ من بؤرةِ العدسةِ الشيئيَّةِ لتلسكوبٍ كاسرٍ.
ج. جسمٌ أبعدُ من بؤرةِ عدسةِ كاميرا.

**3.** حدِّدْ موقعَ صورةِ جسمٍ يقعُ على مسافةِ 3.0 cm أبعدَ من بؤرةِ عدسةٍ لامَّةٍ، بُعدُها البؤريُّ 4.0 cm.

**4.** ما تكبيرُ الجسمِ في السؤالِ 3؟

**5.** **تفسيرُ الرسوم:** استعملْ رسمَ الأشعَّةِ، ما موقعُ الصورةِ الناتجةِ عن مصوِّبةِ كاميرا (عدسةٍ مفرِّقةٍ) بُعدُها البؤريُّ 5.0 cm؟ وما طولُها إذا كانَ طولُ الجسمِ 1.0 cm، وهو على بُعد 10.0 cm أمامَ عدسةِ الكاميرا؟

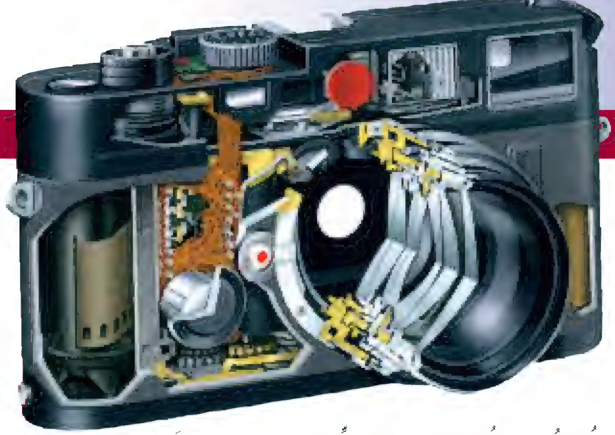
**6.** **تفكيرٌ ناقد:** قارنْ بينَ طولِ التلسكوبِ الكاسرِ وجمعِ البُعدَيْنِ البؤريَّيْنِ لعدستَيْه.

# نافذةٌ على الموضوع
# الكاميرات

للكاميراتِ أنواعٌ وحجومٌ مختلفةٌ، بدءًا من الأنواعِ الصغيرةِ والبسيطةِ التي تصوِّبُ وتصوِّرُ بسهولةٍ أثناءَ الرحلاتِ، وانتهاءً بكاميراتِ الفيديو الكبيرةِ والمعقَّدةِ المستعملةِ للتصويرِ السينمائيِّ. معظمُ الكاميراتِ لها عدسةٌ واحدةٌ على الأقلِّ، بينما يجاوزُ عددُ العدساتِ في الكاميراتِ المعقَّدةِ 30 عدسةً. وقد تحتوي على مرايا ومواشيرَ. تُسمّى أبسطُ أنواعِ الكاميراتِ كاميرا الثقبِ الصغيرِ، وهي مؤلَّفةٌ من صندوقٍ صغيرٍ مُحكَمٍ، فيه ثقبٌ صغيرٌ قطرُه حوالي 0.5 mm، وتعطي هذه الكاميرا، بالرغمِ من بساطتِها، صورًا جيِّدةً على فيلمٍ مثبَّتٍ على الجدارِ المقابلِ للثقبِ. يجبُ أن تتعرَّضَ الكاميرا للجسمِ فترةً زمنيَّةً طويلةً، لأنّ الضوءَ الذي ينفذُ من الثقبِ قليلٌ جدًّا.

قد يكونُ الثقبُ أكبرَ، وتضافُ عدسةٌ لامَّةٌ وغطاءٌ متحرِّكٌ، يفتحُ ويُغلَقُ بسرعةٍ، بحيثُ يسمحُ للضوءِ بالدخولِ من خلالِ العدسةِ، والتأثيرِ في الفيلمِ. نحصلُ عندَ ذلك على كاميرا بسيطةٍ أخرى، تُسمّى كاميرا التركيزِ الثابتِ. يوضعُ الفيلمُ على مسافةِ البُعدِ البؤريِّ للعدسةِ، وتُعدُّ الكاميراتُ التي تُتلفُ بعدَ التصويرِ، من هذا النوعِ الذي يُعطي صورًا جيِّدةً للأجسامِ البعيدةِ فقط. وفي حالةِ الأجسامِ القريبةِ من الكاميرا، تقعُ الصورةُ المركَّزةُ خلفَ الفيلمِ. وبما أن موقعَ الفيلمِ ثابتٌ، فيجبُ تحريكُ العدسةِ بعيدًا عنه للحصولِ على صورةٍ واضحةٍ.

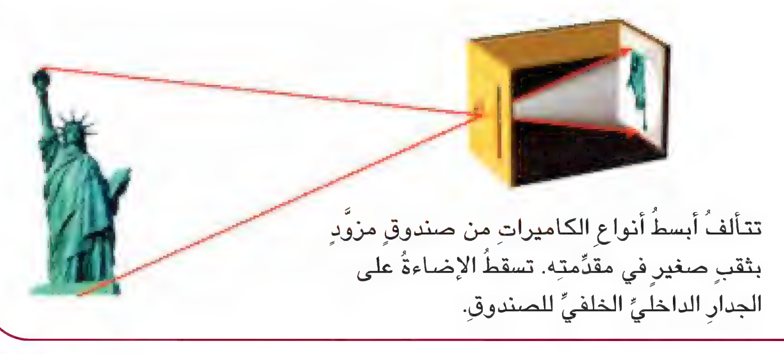
هناك أنواعٌ كثيرةٌ من عدساتِ الكاميراتِ، ويمكنُ تبديلُها بسهولةٍ في حالةِ الكاميراتِ الأحاديَّةِ العدسةِ. العدسةُ الطبيعيَّةُ هي التي تغطّي مجالَ الرؤيةِ نفسَه الذي تُغطِّيه عينُ الإنسانِ. قد يرغبُ المصوِّرُ أحيانًا في تصويرِ أجسامٍ بعيدةٍ ذاتِ تفاصيلَ دقيقةٍ، أو تصويرِ أجسامٍ كبيرةٍ دونَ التقاطِ صورٍ متعدِّدةٍ. يمكنُ ذلك لأن لعدساتِ الزاويةِ الكبيرةِ بعدًا بؤريًّا قصيرًا جدًّا، ويمكنُها التقاطُ مجالِ رؤيةٍ أكبرَ بكثيرٍ من مجالِ العينِ. في حين أن لعدسةِ التصويرِ عن بُعدٍ بُعدًا بؤريًّا طويلاً يساهمُ في زيادةِ التكبيرِ. لعدساتِ التصويرِ عن بُعدٍ زاويةُ رؤيةٍ صغيرةٌ. تساعدُكَ عدساتُ الزومِ في تغييرِ البُعدِ البؤريِّ، دونَ استبدالِ العدساتِ. تحتوي عدساتُ الكاميراتِ هذه على عدساتٍ متعدِّدةٍ، يمكنُ تحريكُ إحداها بالنسبةِ إلى الأُخرياتِ.



تُظهرُ صورةُ المقطعِ الجانبيِّ للكاميرا العناصرَ البصريَّةَ المختلفةَ، المستعملةَ لتكوينِ صورةٍ على الفيلمِ.

تحتوي الكاميراتُ ذاتُ النوعيَّةِ الجيدةِ على عدساتٍ عدَّةٍ بعضُها لامٌّ وبعضُها الآخرُ مفرِّقٌ، وذلك لتقليلِ التشويهِ والزيغِ اللذينِ ينشأنِ في حالةِ الكاميرا اللامَّةِ المنفردةِ. تَنتُجُ أكثرُ حالاتِ الزيغِ، لأنّ العدساتِ تحرفُ الأضواءَ المختلفةَ الألوانِ بمقاديرَ مختلفةٍ، مما يؤدّي إلى تأثيرِ القوسِ قزح في الصورةِ.

قد تتساءلُ عن طريقةِ عملِ البصريّاتِ في الكاميراتِ الرقميَّةِ. الإجابةُ عن ذلك هي أن العدساتِ والأغطيةَ المتحرِّكةَ هما أنفسُهما المستعملتانِ في الكاميراتِ المزوَّدةِ بفيلمٍ. لكن تُستبدلُ بالفيلمِ مصفوفةُ جهازٍ مربوطٍ بشحنةٍ (CCD). تتألَّفُ المصفوفةُ من فواحصَ صغيرةٍ تنتجُ تيارًا كهربائيًّا عندَ تعرُّضِها للضوءِ من الجسمِ المرادِ تصويرُه. على العدساتِ أيضًا أن تركِّزَ الضوءَ القادمَ من الجسمِ على مصفوفةِ CCD، كما كانَتْ تركِّزُهُ على الفيلمِ.



تتألفُ أبسطُ أنواعِ الكاميراتِ من صندوقٍ مزوَّدٍ بثقبٍ صغيرٍ في مقدِّمتِه. تسقطُ الإضاءةُ على الجدارِ الداخليِّ الخلفيِّ للصندوقِ.




# الظواهرُ الضوئيّةُ
# *Optical Phenomena*

## 3-6 مؤشّراتُ الأداءِ

- يتنبأُ إذا كانَ الضوءُ سينكسرُ أم سيتعرّضُ لانعكاسٍ كليٍّ داخليٍّ.
- يعرفُ الشروطَ الجويّةَ التي تسبّبُ الانكسارَ.
- يفسّرُ التشتّتَ وغيرَه من الظواهرِ، كالقوسِ قزح، بدلالةِ العلاقةِ بينَ مُعاملِ الانكسارِ والطولِ الموجيِّ.

**الانعكاسُ الكلّيُّ الداخليُّ**

الانعكاسُ الكاملُ الذي يحصلُ داخلَ مادةٍ، عندَما تزيدُ زاويةُ سقوطِ الضوءِ على سطحٍ فاصلٍ عن الزاويةِ الحرجةِ.

**الزاويةُ الحرجةُ**

زاويةُ السقوطِ من الوسطِ الذي له معاملُ انكسارٍ أكبرَ، تقابلُها زاويةُ انكسارٍ 90° مع العمودِ من الوسطِ الذي له معاملُ انكسارٍ أصغرُ.

## الانعكاسُ الكلّيُّ الداخلي والزاويةُ الحرجةُ

هناكَ ظاهرةٌ مهمّةٌ تُسمّى **الانعكاسَ الكلّيَّ الداخليَّ** total internal reflection، ويمكنُ أن يتحقّقَ عندَ مرورِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ معاملُ انكسارِه أقلُّ. افترضْ أن أشعّةً ضوئيّةً تنتقلُ من الماءِ إلى الهواءِ، كما هو ظاهرٌ في **الشكل 6-10** (أ). هناكَ أربعةُ اتّجاهاتٍ محتملةٌ للأشعّةِ، كما في الشكلِ.

عندَ زاويةِ سقوطٍ محدّدةٍ، تُسمّى **الزاويةَ الحرجةَ** critical angle، ينحرفُ الضوءُ المنكسرُ موازيًا للحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطَيْن. فتكونُ زاويةُ الانكسارِ 90°، كما في **الشكل 6-10** (ب)، وعندَما تزيدُ زاويةُ السقوطِ عن الزاويةِ الحرجةِ، ينعكسُ الضوءُ كلّيًّا عندَ الحدِّ الفاصلِ، كما في **الشكل 6-10**. ينعكسُ هذا الشعاعُ عندَ الحدِّ الفاصلِ كما لو أنه اصطدمَ بسطحٍ عاكسٍ، ويتّبعُ مع الأشعّةِ المماثلةِ مسارًا يحدّدُه قانونُ الانعكاسِ، أي إن زاويةَ السقوطِ تساوي زاويةَ الانعكاسِ. وفي الأجهزةِ البصريّةِ، توضعُ المواشيرُ بحيثُ تنعكسُ الأشعّةُ الساقطةُ كليًّا عندَ السطحِ الخلفيِّ للموشورِ. تُستعملُ المواشيرُ بدلاً من المرايا المطليّةِ، بالفضّةِ أو الألمينيوم، لأنها تعكسُ الضوءَ بشكلٍ أفضلَ، وهي أكثرُ مقاومةً للخدوشِ.

يمكنُ استعمالُ قانونِ سْنِل لإيجادِ الزاويةِ الحرجةِ، فقد ذكرْنا من قبلُ أنه عندَما تتساوى زاويةُ السقوطِ $\theta_i$ مع الزاويةِ الحرجةِ $\theta_c$، تصبحُ زاويةُ الانكسارِ $\theta_r = 90°$. وبتعويضِ هذه القيمِ في قانونِ سْنِل نحصلُ على العلاقةِ التاليةِ:

$$n_i \sin \theta_c = n_r \sin 90°$$

بما أن جيبَ الزاويةِ 90° هو 1، نتوصّلُ إلى العلاقةِ التاليةِ:

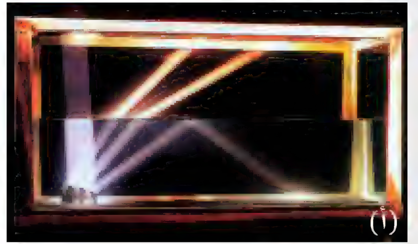
**الزاويةُ الحرجةُ**

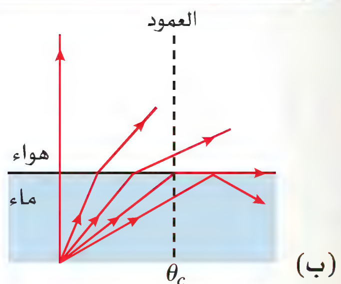
$$\sin \theta_c = \frac{n_r}{n_i} \qquad n_i > n_r$$

$$\text{جيبُ الزاويةِ الحرجةِ} = \frac{\text{معاملَ انكسارِ الوسطِ الثاني}}{\text{معاملِ انكسارِ الوسطِ الأوّلِ}}$$

**فقط عندَما يكونُ مُعاملُ انكسارِ الوسطِ الأوّلِ > معاملِ انكسارِ الوسطِ الثاني.**

لاحظْ أن تلك العلاقةَ تُستعملُ فقط عندَما تكونُ $n_i$ أكبرَ من $n_r$. أي إن الانعكاسَ الكلّيَّ الداخليَّ يحصلُ فقط عندَ انتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه أقلُّ. إذا كانَت $n_i$ أصغرَ من $n_r$ تكون $\sin \theta_i$ وفقَ هذه المعادلةِ أكبرَ من واحدٍ، وهذا مستحيلٌ، لأن جيبَ أي زاويةٍ لا يمكنُ أن يُجاوزَ الواحدَ.




**الشكل 6-10**
(أ) توضحُ هذه الصورةُ مساراتٍ مختلفةً للضوءِ المنطلقِ من أسفلِ حوضٍ مائيٍّ.
(ب) عندَ الزاويةِ الحرجةِ $\theta_c$ ينكسرُ الضوءُ موازيًا لسطحِ الماءِ. كلُّ الأشعةِ التي تزيدُ زاويةَ سقوطِها عن $\theta_c$ تنعكسُ كلّيًّا داخلَ الماءِ.

إذا كانَ الوسطُ الثاني هو الهواءُ، تكونُ الزاويةُ الحرجةُ صغيرةً للموادِّ التي لها مُعاملاتُ انكسارٍ مرتفعةٌ. فالماسُ الذي يبلغُ مُعاملُ انكساره 2.419 تكونُ زاويتُه الحرجةُ $24.4^o$، مقارنةً مع الزاويةِ الحرجةِ للزجاجِ التاجيِّ الذي يبلغُ مُعاملُ انكساره $n = 1.52$ وزاويتُه الحرجةُ $41.0^o$، وبما أن الزاويةَ الحرجةَ للماسِ صغيرةٌ، فإن معظمَ الضوءِ الداخلِ في الماسِ المقطوعِ ينعكسُ كلّيًّا من داخلِه. يخرجُ الضوءُ المنعكسُ من الماسِ عبرَ أكثرِ سطوحهِ رؤيةً؛ لذلك يقطعُ الصاغةُ الماسَ بحيث يُعاودُ معظمُ الضوءِ الذي يدخلُ من

## مثال 6 (ج)

### الزاويةُ الحرجةُ

**المسألة**

**جدِ الزاويةَ الحرجةَ عندَ السطحِ الفاصلِ بينَ الماءِ والهواءِ، حيثُ مُعاملُ انكسارِ الماء 1.333.**

**الحـلّ**

**1. أعرِّف**

**المعطى:** $n_i = 1.333$ $\quad n_r = 1.00$

**المجهول:** $\theta_c = ?$

**2. أخطِّط**

أستعملُ معادلةَ الزاويةِ الحرجةِ.

$$\sin\ \theta_c = \frac{n_r}{n_i}$$

**3. أحسب**

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_r}{n_i}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.00}{1.333}\right)$$

$$\boxed{\theta_c = 48.6^o}$$

## تطبيق 6 (ج)

### الزاويةُ الحرجةُ

1. يُستعملُ الجليسيرينُ لإنتاجِ الصابونِ وغيرِه من منتجاتِ العنايةِ الشخصيَّةِ. جدِ الزاويةَ الحرجةَ للضوءِ المنتقلِ من الجليسيرين $(n = 1.473)$ إلى الهواءِ.
2. جدِ الزاويةَ الحرجةَ للضوءِ المنتقلِ من الجليسيرين $(n = 1.473)$ إلى الماءِ $(n = 1.333)$.
3. مُعاملُ انكسارِ الثلجِ أقلُّ من معاملِ انكسارِ الماءِ، جدِ الزاويةَ الحرجةَ للضوءِ المنتقلِ من الثلجِ $(n = 1.309)$ إلى الهواءِ.
4. أيُّ التالييْن له زاويةٌ حرجةٌ أصغرُ: الماسُ $(n = 2.419)$ أم مكعَّبُ زركونيومٍ $(n = 2.20)$؟ علِّلْ إجابتَك.

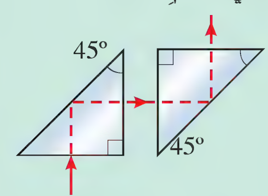
## نشاط عملي سريع

### بريسكوب

**الموادّ**

✓ موشوران قائما الزاويةِ

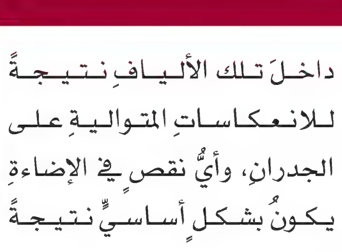
ضعِ الموشورَيْن جنبًا إلى جنبٍ، كما في الرسمِ أدناه.




لاحظْ أن هذا الترتيبَ يمكنُ أن يُستعملَ كبريسكوبٍ لمشاهدةِ الأجسامِ الواقعةِ فوقَ خطِّ نظرِك إذا وُضعَ الجهازُ بشكلٍ رأسيٍّ، أو من خلفِ زاويةٍ إذا وُضعَ بشكلٍ أفقيٍّ. كيف يمكنُك ترتيبَ الجهازِ لترى خلفَك؟ ارسمْ تصميمَك على ورقةٍ، ثم اختبرْه.

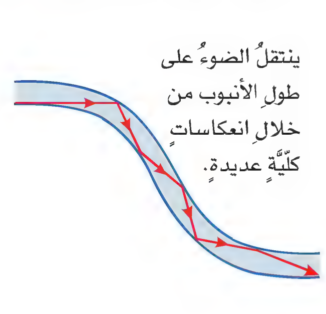
## فكرةٌ مفيدة

تذكَّرْ أنَّ الزاويةَ الحرجةَ تحدثُ عند انتقالِ الضوءِ من وسطٍ ذي مُعاملِ انكسارٍ أكبرَ إلى وسطٍ ذي مُعاملِ انكسارٍ أقلّ.



# نافذةٌ على الموضوع
# الأليافُ البصريَّةُ

أحدُ التطبيقاتِ المهمَّةِ الأخرى للانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ هو استعمالُ أنابيبَ زجاجيَّةٍ أو بلاستيكيَّةٍ شفَّافةٍ، كالأنابيبِ الموضَّحةِ في الصورةِ، لنقلِ الضوءِ من مكانٍ إلى آخرَ. يُسيَّرُ الضوءُ داخلَ هذه الأنابيبِ حتى عندَ المنحنياتِ البسيطةِ، نتيجةً للانعكاساتِ الكليَّةِ الداخليَّةِ المتلاحقةِ. يمكنُ لأنبوبٍ ضوئيٍّ كهذا أن يكونَ مرنًا إذا استُبدِلَتْ بالأنابيبِ الصلبةِ أليافٌ رقيقةٌ. إذا استعملتْ حزمةٌ من الأليافِ المتوازيةِ لبناءِ خطِّ نقلٍ ضوئيٍّ، يمكنُ نقلُ الضوءِ من نقطةٍ إلى أخرى.


ينتقلُ الضوءُ على طولِ الأنبوبِ من خلالِ انعكاساتٍ كلّيَّةٍ عديدةٍ.

الطريقةُ التكنولوجيَّةُ المتَّبعةُ تُسمّى الأليافَ البصريَّةَ. كمّيّةٌ قليلةٌ جدًّا من الضوءِ فحسبُ تضيعُ داخلَ تلكَ الأليافِ نتيجةً للانعكاساتِ المتواليةِ على الجدرانِ، وأيُّ نقصٍ في الإضاءةِ يكونُ بشكلٍ أساسيٍّ نتيجةً للانعكاساتِ الحاصلةِ عندَ الطرفَيْنِ، ولامتصاصِ مادَّةِ الأليافِ. تُستعملُ أجهزةُ الأليافِ البصريَّةِ بشكلٍ أساسيٍّ لرؤيةِ صورِ مناطقَ يصعبُ الوصولُ إليها. مثلاً، يمكنُ إدخالُ سلكٍ من الأليافِ البصريَّةِ داخلَ المريءِ، وبلوغُ المعدةِ لمعاينةِ أيِّ تقرُّحاتٍ فيها.

تُستعملُ الأليافُ البصريَّةُ، بشكلٍ واسعٍ، في مجالِ الاتِّصالاتِ السلكيَّةِ واللاسلكيَّةِ، لأن الأليافَ تستطيعُ أن تنقلَ كمّيَّةً أكبرَ من المكالماتِ الهاتفيَّةِ وإشاراتِ الحاسوبِ، بالمقارنةِ مع الأسلاكِ الكهربائيَّةِ.

## الانكسارُ الجوّيُّ

يمكنُ يوميًّا رؤيةُ مثالٍ على الانكسارِ، فالشمسُ نراها بعدَ غيابِ قُرصِها خلفَ الأفقِ. تصطدمُ الأشعَّةُ القادمةُ من الشمسِ بالغلافِ الأرضيِّ وتنحرفُ، لأن مُعاملَ انكسارِ الغلافِ الجوّيِّ يختلفُ عن معاملِ انكسارِ الفضاءِ القريبِ من الفراغِ. ويكونُ الانحرافُ في هذه الحالةِ تدريجيًّا ومتَّصلاً، لأن الضوءَ ينتقلُ بين طبقاتٍ هوائيَّةٍ يتغيَّرُ معاملُ انكسارِها بشكلٍ تدريجيٍّ. وتتابعُ أعينُنا مسارَ تلك الأشعَّةِ خلفيًّا، باتِّجاهِ المصدرِ الذي انطلقَت منه.

### السراب

السرابُ ظاهرةٌ طبيعيَّةٌ أخرى ناتجةٌ عن انكسارِ الضوءِ في طبقاتِ الجوِّ، ويمكن معاينةُ السرابِ عندَما تكونُ الأرضُ حارَّةً جدًّا، كما في المناطقِ الصحراويَّةِ، بحيثُ يكونُ الهواءُ فوقَها مباشرةً أسخنَ من الهواءِ في الطبقاتِ الأعلى.

لطبقاتِ الهواءِ الواقعةِ على ارتفاعاتٍ مختلفةٍ فوقَ سطحِ الأرضِ، كثافاتٌ مختلفةٌ،

**الشكل 6-11**
يظهرُ السرابُ نتيجةً لانحرافِ الأشعَّةِ في طبقاتِ الهواءِ، عندَما تكونُ هناك فروقٌ كبيرةٌ بينَ درجاتِ حرارةِ الأرضِ والهواءِ.

ومن ثمَّ معاملاتُ انكسارٍ مختلفةٌ. يظهرُ هذا التأثيرُ في **الشكل 6-11**، حيث يرى المشاهدُ شجرةً بطريقتَين مختلفتَيْن. تصلُ المجموعةُ الأولى من الأشعَّةِ إلى المشاهدِ بشكلٍ مباشرٍ على المسارِ A، فتلاحقُ العينُ تلك الأشعَّةَ خلفيًّا، فيرى المشاهدُ الشجرةَ في موقعِها الطبيعيِّ. أما المجموعةُ الثانيةُ من الأشعَّةِ، فتنتقلُ عبرَ المسارِ B. تنطلقُ تلك الأشعَّةُ باتِّجاهِ الأرضِ، ثم تنحرفُ تدريجيًّا نتيجةَ الانكسارِ. لذلك يرى المُشاهدُ صورةً مقلوبةً للشجرةِ عند متابعةِ تلك الأشعَّةِ خلفيًّا باتجاهِ المصدرِ الذي انطلقَت منه. وبما أن المشاهدَ يرى صورتَين، صورةً معتدلةً، وأخرى مقلوبةً، لشجرةٍ أمامَ السطحِ العاكسِ، فيتراءى له وجودُ بركةٍ من الماءِ أمامَ الشجرةِ.

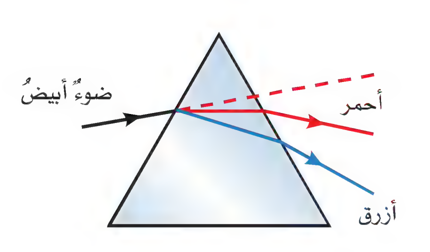
# التشتُّت

إحدى الخصائص المهمَّة لمعاملِ الانكسارِ هي أن قيمتَه في غيرِ الفراغِ تعتمدُ على الطولِ الموجيِّ للضوءِ، لذلك، ووفقَ قانونِ سْنِل، ينحرفُ الضوءُ، ذو الأطوالِ الموجيَّةِ المختلفةِ، بزوايا انكسارٍ مختلفةٍ لدى دخولِه مادةً معيَّنةً، وتُسمّى تلك الظاهرةُ **التشتُّتَ** dispersion. وكما ذكرْنا آنفًا في **القسم 6-1**، يتناقصُ مُعاملُ الانكسارِ مع ازديادِ الطولِ الموجيِّ. فمثلاً ينكسرُ الضوءُ الأزرقُ ($\lambda$ = 470 nm) أكثرَ من الضوءِ الأحمرِ ($\lambda$ = 650 nm) لدى دخولِه مادةً كاسرةً.

**التشتُّت**
عمليَّةُ فصلِ الضوءِ إلى ألوانِه الأوَّليَّةِ المكوِّنةِ له.

## الطيفُ المرئيُّ الناتجُ عن مرورِ الضوءِ الأبيضِ في موشورٍ

لفهمِ تأثيرِ التشتُّتِ في الضوءِ، افترضْ سقوطَ الضوءِ على موشورٍ، كما في **الرسم 6-12**، نتيجةً للتشتُّتِ، ينحرفُ الجزءُ الأزرقُ من الضوءِ أكثرَ من الجزءِ الأحمرِ، وتتوزَّعُ الأشعَّةُ الخارجةُ من الوجهِ الآخرِ للموشورِ على سلسلةٍ من الألوانِ تُسمّى الطيفَ المرئيَّ، وتتوالى تلك الألوانُ، وفقَ تناقصِ طولِها الموجيِّ، بدءًا من الأحمرِ فالبرتقاليِّ فالأصفرِ، ثم الأخضرِ والأزرقِ والبنفسجيِّ.

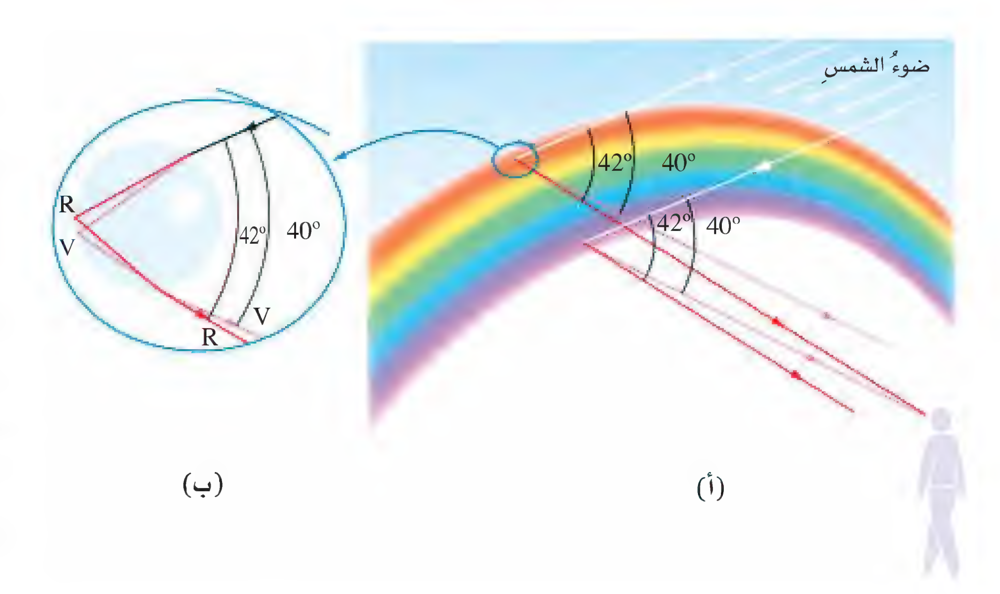


**الشكل 6-12**
عندَما يدخلُ الضوءُ الأبيضُ في موشورٍ، ينحرفُ الضوءُ الأزرقُ أكثرَ من الأحمرِ. ويشتِّتُ الموشورُ الضوءَ الأبيضَ إلى مكوِّناتِه المختلفةِ.

## نشوءُ القوسِ قزح (قوسِ المطرِ) من تشتُّتِ الضوءِ في قطراتِ الماءِ

يَظهرُ تشتُّتُ الضوءِ إلى طيفٍ ملوَّنٍ ظهورًا جليًّا في القوسِ قزح الذي يلاحظُه مراقبٌ يقفُ بينَ ضوءِ الشمسِ وزخّاتِ المطرِ. عندَما تسقطُ أشعَّةُ الشمسِ على قطرةٍ من الماءِ في الفضاءِ، تنكسرُ أولاً عندَ السطحِ الخارجيِّ للقطرةِ، فيكونُ الضوءُ البنفسجيُّ الضوءَ الأكثرَ انكسارًا، والضوءُ الأحمرُ الضوءَ الأقلَّ انكسارًا، بعدَ ذلك تنعكسُ الأشعَّةُ كلّيًّا على السطحِ الداخليِّ للقطرةِ، لتعودَ إلى السطحِ الخارجيِّ، ثمَّ تنكسرُ مرَّةً أُخرى لدى خروجِها من قطرةِ الماءِ إلى الهواءِ. تخرجُ الأشعَّةُ من القطرةِ، بحيثُ تكونُ الزاويةُ، بينَ الضوءِ الأبيضِ الساقطِ والبنفسجيِّ النافذِ 40°، وتكونُ الزاويةُ بينَ الضوءِ الأبيضِ الساقطِ والأحمرِ النافذِ 42°، كما هو موضحٌ في **الشكل 6-13 (ب)**.

افترضِ الآنَ **الشكلَ 6-13** (أ). عندما يراقبُ المشاهدُ قطرةَ مطرٍ عاليةً في السماءِ، فإنه يرى اللونَ الأحمرَ، أما اللونُ البنفسجيُّ وباقي الألوانِ فتمرُّ فوقَ المراقبِ، لأنها تنحرفُ عن مسارِ الضوءِ الأبيضِ أكثرَ من اللونِ الأحمرِ. لذلك يرى المراقبُ القطرةَ حمراءَ اللونِ. كذلك إذا افترضْنا قطرةَ مطرٍ أُخرى أقلَّ ارتفاعًا في السماءِ، فإن المراقبَ سيرى الضوءَ البنفسجيَّ القادمَ منها، وتبدو القطرةُ بنفسجيَّةَ اللونِ. (الضوءُ الأحمرُ القادمُ من تلك القطرةِ سيصطدمُ بالأرضِ ولن يُرى). يرى المراقبُ ألوانَ الطيفِ الأخرى من قطراتِ المطرِ الواقعةِ بين هذَيْن الارتفاعَيْن.




**الشكل 6-13**

القوسُ قزح في الشكلِ (أ) ينشأُ من تشتُّتِ الضوءِ في قطراتِ المطرِ، ينقسمُ ضوءُ الشمسِ إلى طيفٍ عندَ دخولِ قطرةِ المطرِ الكرويَّةِ، وتنعكسُ الأشعَّةُ كليًّا وداخليًّا على السطحِ الداخليِّ للقطرةِ، كما في (ب). يعتمدُ اللونُ المرئيُّ لكلِّ قطرةٍ على الزاويةِ التي تُرى القطرةُ من خلالِها.

لاحظْ أن القوسَ قزح غالبًا ما يُرى فوقَ الأفقِ، حيثُ يلامسُ طرفاه الأرضَ. فإذا كانَ المراقبُ في طائرةٍ مرتفعةٍ أو على قمَّةِ جبلٍ عالٍ، فإن القوسَ قزح يُرى على شكلِ دائرةٍ كاملةٍ.

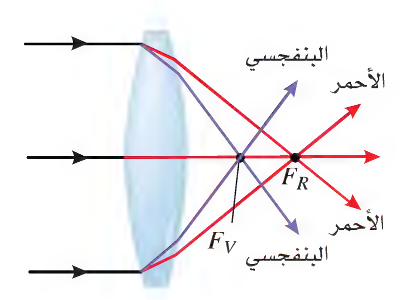
# زيغُ العدساتِ

إحدى المشكلاتِ المهمَّةِ التي تنجمُ عن العدساتِ وأنظمةِ العدساتِ هي الصورُ غيرُ الدقيقةِ. النظريةُ المبسَّطةُ للمرايا والعدساتِ تفترضُ تشكُّلَ زوايا صغيرةٍ بينَ الأشعَّةِ والمحورِ الأساسيِّ، كما تفترضُ أن كلَّ الأشعَّةِ، التي تسقطُ على أيِّ مرآةٍ أو عدسةٍ من مصدرِ نقطةٍ ضوئيَّةٍ، تتركَّزُ في نقطةٍ واحدةٍ، وتنتجُ صورةً واضحةً. ومن الواضحِ أن ذلك لا ينطبقُ دائمًا على الحالاتِ الواقعيَّةِ، في الحالاتِ التي لا ينطبقُ فيها التقريبُ الذي تفترضُه تلك النظريةُ تكونُ الصورُ مشوَّهةً وغيرَ واضحةٍ، كما في حالةِ المرايا الكرويَّةِ، كذلك في حالةِ العدساتِ، فيحصلُ الزيغُ الكرويُّ. **ينتجُ هذا الزيغُ من كونِ بؤرتَي الأشعَّةِ البعيدةِ عن المحورِ الأساسيِّ للعدساتِ الكرويَّةِ تختلفانِ عن بؤرتَيِّ الأشعَّةِ القريبةِ من المحورِ الأساسيِّ للطولِ الموجيِّ نفسه.** تتركَّزُ الأشعَّةُ القريبةُ من منتصفِ العدسةِ في نقاطٍ أبعدَ عن العدسةِ، بالمقارنةِ مع الأشعَّةِ الساقطةِ على أطرافِ العدسةِ.

هناك نوعٌ آخرُ من الزيغِ يُسمّى **الزيغ اللونيّ** chromatic aberration، ينتجُ من اعتمادِ الانكسارِ على الطولِ الموجيِّ. وبما أن مُعاملَ انكسارِ مادةٍ معيَّنةٍ يتغيَّرُ بتغيُّرِ الطولِ الموجيِّ، فإن الأشعَّةَ ذاتَ الأطوالِ الموجيَّةِ المختلفةِ تتركَّزُ في بؤرٍ مختلفةٍ في العدسةِ الواحدةِ، فمثلاً، عندَما يسقطُ الضوءُ الأبيضُ على عدسةٍ، ينكسرُ الضوءُ البنفسجيُّ أكثرَ من اللونِ الأحمرِ، كما هو موضحٌ في **الشكل 6-14**. لذلك يكونُ البُعدُ البؤريُّ للونِ الأحمرِ أكبرَ من البُعدِ البؤريِّ للونِ البنفسجيِّ. ويكونُ البُعدُ البؤريُّ للألوانِ الأُخرى بينَ هذَيْنِ البُعدَيْن. وبما أن شكلَ العدسةِ المفرِّقةِ معاكسٌ للعدسةِ اللامَّةِ، فإن زيغَها الكرويَّ يكونُ معاكسًا لزيغِ العدسةِ المجمِّعةِ. يمكنُ التقليلُ من الزيغِ الكرويِّ بشكلٍ فعّالٍ، باستعمالِ مجموعةٍ من عدستَيْن إحداهما لامَّةٌ والأخرى مفرِّقةٌ، مصنوعتَيْن من نوعَيْن مختلفَيْن من الزجاجِ.

**الزيغُ اللونيُّ**

تركيزُ الألوانِ الضوئيَّةِ المختلفةِ على مسافاتٍ مختلفةٍ خلفَ العدسةِ.




**الشكل 6-14**
بسببِ التشتُّتِ، يتجمَّعُ الضوءُ الأبيضُ الساقطُ على عدسةٍ لامَّةٍ في نقاطٍ بؤريةٍ مختلفةٍ، كلٌّ منها تختصُّ بطولٍ موجيٍّ محدَّدٍ. (الزوايا في الرسمِ مبالغٌ فيها من أجلِ التوضيحِ).

## مراجعةُ القسم 6-3

**1.** جدِ الزاويةَ الحرجةَ لضوءٍ منتقلٍ من الماءِ ($n = 1.333$) إلى الثلجِ ($n = 1.309$).

**2.** في أيٍّ من الظروفِ التاليةِ تحدثُ ظاهرةُ السرابِ؟
أ. فوقَ بحيرةٍ ساخنةٍ في يومٍ حارٍّ.
ب. فوقَ طريقِ إسفلتٍ في يومٍ حارٍّ.
ج. فوقَ منحدرِ تزلُّجٍ في يومٍ باردٍ.
د. فوقَ رمالِ الشاطئِ في يومٍ حارٍّ.
هـ. فوقَ سيارةٍ سوداءَ في يومٍ مشمسٍ.

**3.** إذا مرَّ الضوءُ الأبيضُ في موشورٍ، فأيُّ اللونَيْن ينحرفُ أكثرَ: الأحمرُ أم الأخضرُ؟

**4.** **تفكيرٌ ناقدٌ:** يخرجُ شخصٌ من منزلِه بعدَ يومٍ ماطرٍ. ينظرُ إلى الشرقِ فيرى القوسَ قزح فوقَ منزلِ جارِه. هل يحصلُ ذلكَ في الصباحِ أم بعدَ الظهرِ؟

# ملخَّصُ الفصل 6

## مصطلحاتٌ أساسيَّة

- **الانكسار** Refraction (ص 144)
- **مُعاملُ انكسار الوسط** Index of refraction (ص 146)
- **العدسة** Lens (ص 150)
- **الانعكاسُ الكلّيُّ الداخليُّ** Total internal reflection (ص 162)
- **الزاويةُ الحرجةُ** Critical angle (ص 162)
- **التشتُّتُ** Dispersion (ص 165)
- **الزيغُ اللونيّ** Chromatic aberration (ص 167)

## أفكارٌ أساسيَّة

### القسم 6-1 الانكسار

- نصُّ قانونُ سْنِل هو: عندَما ينتقلُ الضوءُ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ تختلفُ فيه سرعةُ الضوءِ، يغيِّرُ الشعاعُ الضوئيُّ اتجاهَه، إلا إذا كانَ باتِّجاهِ العمود.
- عندَما ينتقلُ الضوءُ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه أكبرُ، تنحرفُ الأشعَّةُ مقتربةً من العمود، وفي الحالةِ المعاكسةِ، تنكسرُ الأشعَّةُ مبتعدةً عن العمود.

### القسم 6-2 العدساتُ الرقيقةُ

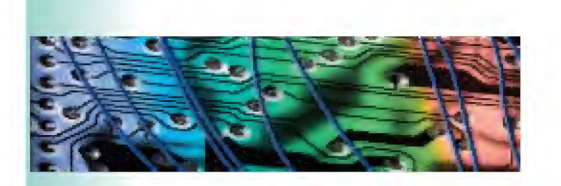
- الصورةُ الناتجةُ عن عدسةٍ لامَّةٍ تكونُ حقيقيَّةً ومقلوبةً إذا كانَ الجسمُ أبعدُ عن البؤرةِ. وتكونُ خياليَّةً ومعتدلةً إذا كانَ الجسمُ أقربَ من البؤرةِ. أما العدسةُ المفرِّقةُ فتعطي دائمًا صورًا خياليَّةً ومعتدلةً.
- يمكنُ تحديدُ موقعِ صورةٍ في عدسةٍ، باستعمالِ رسمِ أشعَّةٍ أو بتطبيقِ معادلةِ العدساتِ الرقيقةِ.

### القسم 6-3 الظواهرُ الضوئيَّةُ

- يحصلُ الانعكاسُ الكلِّيُّ الداخليُّ لدى انتقالِ الضوءِ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه أصغرُ. إذا كانَتْ زاويةُ السقوطِ أكبرَ من الزاويةِ الحرجةِ، فإن الانعكاسَ الكلِّيَّ الداخليَّ يحصلُ عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطَين.
- السرابُ ومشاهدةُ الشمسِ بعد غروبِ قرصِها ظاهرتان طبيعيَّتان ناتجتان عن انكسارِ الضوءِ في الفضاءِ الخارجيِّ للأرض.

**رموزُ المتغيِّراتِ**

| الكمِّيَّة | الرمز | الوحدة |
|---|---|---|
| زاويةُ السقوطِ | $\theta_i$ | ° درجة |
| زاويةُ الانكسارِ | $\theta_r$ | ° درجة |
| مُعاملُ الانكسارِ | $n$ | |
| بُعدُ الجسمِ عن العدسةِ | $p$ | m متر |
| بُعدُ الصورةِ عن العدسةِ | $q$ | m متر |
| طولُ الصورةِ | $h'$ | m متر |
| طولُ الجسمِ | $h$ | m متر |
| الزاويةُ الحرجةُ | $\theta_c$ | ° |





# مراجعةُ الفصل 6



## راجعْ وقيِّمْ

## الانكسارُ

### أسئلةُ مراجعة

1. هل ينكسرُ الشعاعُ الضوئيُّ المنتقلُ من وسطٍ إلى وسطٍ آخرَ باتِّجاهِ العمودِ دائمًا؟
2. هل يتغيَّرُ الطولُ الموجيُّ للضوءِ عندَ انتقالِه من الفراغِ $(n = 1)$ إلى وسطٍ كالزجاجِ $(n > 1)$؟ وهل تتغيَّرُ سرعتُه؟ وهل يتغيَّرُ تردُّدُه؟
3. ما العلاقةُ بينَ سرعةِ الضوءِ في وسطٍ شفَّافٍ ومُعاملِ انكسارِه؟
4. لماذا يبدو الجدولُ المائيُّ دائمًا أقلَّ عمقًا من عمقِه الحقيقيِّ؟
5. ما الشروطُ التي يجبُ تحقيقُها لحصولِ الانكسارِ؟

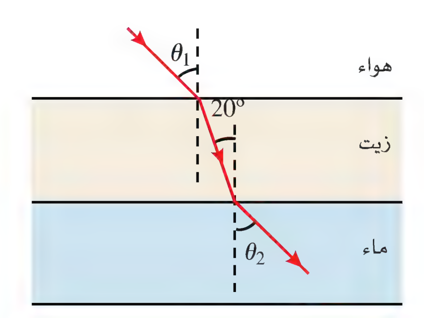
### أسئلةٌ حولَ المفاهيم

6. سقطَ ضوءان $x$ و $y$ بلونَيْن مختلفَيْن على موشورٍ زجاجيٍّ فانحرفَ $x$ أكثرَ من $y$. أيُّهما سرعتُه أقلُّ داخلَ الموشورِ؟
7. لماذا يبدو المجذافُ منحنيًا إذا كانَ جزءٌ منه في الماءِ؟
8. يرمي صديقُك قطعةً معدنيَّةً في بركةِ ماءٍ. تغمضُ عينَيْك ثم تغطسُ من حافةِ البركةِ باتِّجاهِ البقعةِ التي شاهدْتَ القطعةَ فيها. عندَما تصلُ إلى قاعِ البركةِ، هل تكونُ القطعةُ أمامَك أم خلفَك؟
9. يمكنُ رؤيةُ سطحِ الماءِ $(n = 1.33)$ في كوبٍ زجاجيٍّ شفَّافٍ رؤيةً واضحةً بالعينِ المجرَّدةِ، بينما تصعبُ رؤيةُ سطحِ سائلِ الهيليوم $(n = 1.03)$ في الكوبِ الشفَّافِ نفسِه بالعينِ المجرَّدةِ، علِّلْ ذلك.

### مسائلُ تطبيقيَّة

**لحلِّ المسائل 10-14 انظرِ المثالَ 6 (أ)، ص 148**

10. يدخلُ الضوءُ من الهواءِ إلى الماءِ بزاويةِ سقوطٍ $42.3^o$، احسبْ زاويةَ الانكسارِ داخلَ الماءِ.
11. يدخلُ شعاعٌ ضوئيٌّ سطحَ الماءِ في كوبٍ بزاويةِ $36^o$ مع العمودِ، ما الزاويةُ بين الشعاعِ المنكسرِ والعمودِ؟
12. شعاعٌ دقيقٌ من اللونِ الأصفرِ ناتجٌ عن مصباحِ صوديومٍ متوهِّجٍ $(\lambda_o = 589\ nm)$، يسقطُ من الهواءِ على سطحِ الماءِ بزاويةِ $\theta_i = 35.0^o$، احسبْ زاويةَ الانكسارِ $\theta_r$.
13. شعاعٌ ضوئيٌّ في الهواءِ يسقطُ على قالبٍ زجاجيٍّ سمكُه $2.00\ cm$ ومُعاملُ انكسارِه $n = 1.50$، بزاويةِ $30.0^o$ مع العمودِ، تابعْ سيرَ الشعاعِ داخلَ الزجاجِ، وجدْ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ عندَ كلِّ سطحٍ.
14. لشعاعِ الضوءِ الموضَّحِ في الشكلِ التالي زاويةُ $20.0^o$ مع العمودِ عندَ السطحِ الفاصلِ بينَ الزيتِ والماءِ، جدِ الزاويتَيْن $\theta_1$ و $\theta_2$، مع العلمِ أن $n = 1.48$ للزيتِ.




## العدساتُ الرقيقةُ

### أسئلةُ مراجعة

15. أيُّ نوعٍ من العدساتِ يستطيعُ تركيزَ أشعَّةِ الشمسِ؟
16. لِمَ لا تتكوَّنُ صورةٌ لجسمٍ موضوعٍ عندَ بؤرةِ عدسةٍ لامَّةٍ؟

17. افترضْ صورةً مكوَّنةً بوساطةِ عدسةٍ لامَّةٍ. في أيٍّ من الحالاتِ تكونُ الصورةُ
أ. مقلوبةً؟
ب. معتدلةً؟
ج. حقيقيَّةً؟
د. خياليَّةً؟
هـ. أكبرَ من الجسمِ؟
و. أصغرَ من الجسمِ؟

18. أعدِ الإجابةَ عن الأقسامِ (أ - و) من السؤالِ 17. لكن في حالةِ العدسةِ المفرِّقةِ.

19. اشرحِ النصَّ التاليَ: بؤرةُ العدسةِ اللاّمة هي النقطةُ التي تتكوَّنُ عندَها صورةُ جسمٍ موجودٍ عندَ ما لا نهايةٍ. بناءً على هذا النصِّ هل يمكنُك اعتمادُ طريقةٍ سريعةٍ لتحديدِ البُعدِ البؤريِّ لعدسةٍ لامَّةٍ؟

### أسئلةٌ حولَ المفاهيمِ

20. إذا غُطِّسَتْ عدسةٌ زجاجيَّةٌ لامَّةٌ في الماءِ، فهل يطولُ بعدُها البؤريُّ أم يقصرُ، مقارنةً مع وجودِها في الهواءِ؟

21. للتمكُّنِ من رؤيةِ صورةٍ معتدلةٍ لشريحةٍ مخبريَّةٍ في جهازِ إسقاطٍ، يجبُ أن توضعَ الشريحةُ رأسًا على عقبٍ في الجهازِ. ما نوعُ عدسةِ الجهازِ؟ هل الشريحةُ داخلَ البُعدِ البؤريِّ للعدسةِ أم خارجَهُ؟

22. إذا كانَ المجهرُ المركَّبُ يتكوَّنُ من عدستَيْنِ لامَّتَيْنِ، فلماذا لا تزالُ تحصُلُ على صورةٍ مقلوبةٍ؟

23. تتحدَّثُ إحدى الرواياتِ العالميَّةِ عن تكوينِ عدسةٍ مكبِّرةٍ بوساطةِ قطعةٍ من الثلجِ، تستطيعُ تركيزَ أشعَّةِ الشمسِ في بؤرتِها لإحداثِ حريقٍ. هل يمكنُ ذلك؟

### مسائلُ تطبيقيَّةٌ

**لحلِّ المسائلِ 24-26 انظرِ المثالَ 6 (ب)، ص 156**

24. وُضعَ جسمٌ أمامَ عدسةٍ مفرِّقةٍ بعدُها البؤريُّ 20.0 cm. جدْ بُعدَ الصورةِ عنها واحسبِ التكبيرَ، ثم صفْ حالةَ الصورةِ (هل هي خياليَّةٌ أم حقيقيَّةٌ) لكلِ بُعدٍ للجسمِ من الأبعادِ التاليةِ:
أ. 40.0 cm
ب. 20.0 cm
ج. 10.0 cm

25. ينظرُ شخصٌ إلى حجرٍ كريمٍ من خلالِ عدسةٍ لامَّةٍ بعدُها البؤريُّ 12.5 cm، تُكوِّنُ العدسةُ صورةً خياليَّةً على بُعدِ 20.0 cm من العدسةِ، احسبِ التكبيرِ، وهل الصورةُ معتدلةٌ أم مقلوبةٌ؟

26. وُضعَ جسمٌ أمامَ عدسةٍ لامَّةٍ بعدُها البؤريُّ 20.0 cm، جدْ، لكل بُعدٍ للجسمِ عن العدسةِ، بُعدَ الصورةِ عنها، واحسُبْ تكبيرَها، ثمَّ صفِ الصورةَ.
أ. 40.0 cm
ب. 10.0 cm

## الظواهر الضوئيَّة

### أسئلةُ مراجعة

27. هل يمكنُ الحصولُ على انعكاسٍ كلّيٍّ داخليٍّ عندَ انتقالِ الضوءِ من الهواءِ إلى الماءِ؟ علِّلْ ذلك.

28. ما الشروطُ اللازمةُ لتحقيقِ ظاهرةِ السرابِ؟

29. لماذا نرى اللونَ الأحمرَ في أعلى القوسِ قزحٍ، واللونَ البنفسجيَّ في أسفلِه؟

30. ما نوعُ الزيغِ في كلٍّ من الحالاتِ التاليةِ؟
أ. رؤيةُ اللونِ الأحمرِ عندَ أطرافِ صورةٍ معيَّنةٍ.
ب. عدمُ التمكُّنِ من تركيزِ الجزءِ المركزيِّ لصورةٍ.
ج. عدمُ التمكُّنِ من رؤيةِ الجزءِ الخارجيِّ لصورةٍ بوضوحٍ.
د. تكبيرُ الجزءِ المركزيِّ للصورةِ أكثرَ من الجزءِ الخارجيِّ.

### أسئلةُ حولَ المفاهيمِ

31. يتَّبعُ شعاعُ ليزرٍ مسارًا منحنيًا داخلَ محلولِ سكّرٍ غيرِ متجانسٍ، علِّلْ ذلك.

32. تبدو صورةُ مركبٍ عائمٍ فوقَ الماءِ الباردِ في يومٍ حارٍّ، وكأنها فوقَ موقعِ المركبِ، علِّلْ ذلك.

33. لمَ لا تُسبِّبُ المرآةُ زيغًا لونيًّا؟

34. ما سببُ صدورِ ألوانٍ مختلفةٍ من قطعةِ الماسِ لدى تعرُّضِها للضوءِ الأبيضِ؟

## مسائلُ تطبيقيَّة

**لحلِّ المسائلِ 35-37 انظرِ المثالَ 6 (ج)، ص 163**

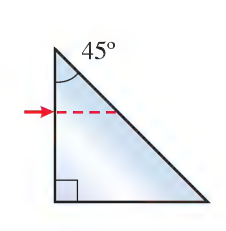
**35.** احسبِ الزاويةَ الحرجةَ للضوءِ المنتقلِ من الجليسيرينِ إلى الهواءِ.

**36.** افترضْ أن $\lambda = 589$ nm، احسبِ الزوايا الحرجةَ للموادِّ التاليةِ المحاطةِ بالهواءِ:

أ. زركونيوم ب. فلوريت

ج. ثلج

**37.** يدخلُ الضوءُ من الهواءِ إلى موشورِ زجاجٍ تاجيٍّ ($n = 1.52$) من خلالِ السطحِ الموضَّحِ في الشكلِ، فهل ينفذُ الضوءُ من السطحِ المقابلِ، أم ينعكسُ داخليًّا بشكلٍ كلِّيٍّ؟ وضِّحْ بالرسمِ مسارَ الأشعَّةِ.




# مراجعةٌ عامَّة

**38.** زاويتا السقوطِ والانكسارِ لضوءٍ ينتقلُ من الهواءِ إلى مادةٍ ذاتِ مُعاملِ انكسارٍ أكبرَ، هما $63.5^{\circ}$ و $42.9^{\circ}$ على التوالي، فما مُعاملُ انكسارِ المادةِ؟

**39.** يسلِّطُ شخصٌ ضوءًا باتجاهِ صديقٍ له يسبحُ تحتَ الماءِ، إذا كانَتِ الزاويةُ بينَ الشعاعِ داخلَ الماءِ والعمودِ على السطحِ $36.2^{\circ}$، فكم تكونُ زاويةُ السقوطِ؟

**40.** ما مُعاملُ انكسارِ مادَّةٍ سرعةُ الضوءِ فيها $1.85 \times 10^{8}$ m/s؟ انظرْ معاملاتِ الانكسارِ في **الجدول 1-6** لتتعرَّفَ المادةَ.

**41.** ينتقلُ الضوءُ من زجاجِ الصوّانِ إلى الماءِ بزاويةِ سقوطٍ $28.7^{\circ}$

أ. كم تبلغُ زاويةُ الانكسارِ؟

ب. ما زاويةُ السقوطِ المطلوبةُ للحصولِ على زاويةِ انكسارٍ تساوي $90.0^{\circ}$؟

**42.** البُعدُ البؤريُّ لعدسةِ تكبيرٍ لامَّةٍ 15.0 cm، فما المسافةُ بينَ العدسةِ وقطعةِ نقودٍ معدنيَّةٍ، بحيثُ نحصلُ على صورةٍ لقطعةِ النقودِ تكبيرُها $+2.00$؟

**43.** حجمُ صورةٍ لطابعِ بريدِ إقليمِ كوردستانِ العراق يبلغُ عندَ النظرِ إليه من خلالِ عدسةٍ لامَّةٍ 1.50 من حجمِهِ الطبيعيِّ. ما البعدُ البؤريُّ للعدسةِ إذا كانَتِ المسافةُ بينَ الطابعِ والعدسةِ 2.84 cm.

**44.** تُستعملُ عدسةٌ مفرِّقةٌ لإعطاءِ صورةٍ خياليَّةٍ لجسمٍ، بُعدُ الجسمِ عن العدسةِ 80.0 cm، وبُعدُ الصورةِ عنها 40.0 cm. احسبِ البُعدَ البؤريَّ للعدسةِ.

**45.** وُضعَتْ شريحةٌ مختبريَّةٌ أمامَ عدسةٍ لامَّةٍ لمجهرٍ، بُعدُها البؤريُّ 2.44 cm، تعطي العدسةُ صورةً للشريحةِ على بُعدِ 12.9 cm من الشريحةِ.

أ. ما بُعدُ العدسةِ عن الشريحةِ إذا كانَتِ الصورةُ حقيقيَّةً؟

ب. ما بُعدُ العدسةِ عن الشريحةِ إذا كانَتِ الصورةُ خياليَّةً؟

**46.** أين يجبُ أن يوضعَ جسمٌ بحيثُ تكونُ صورتُه على بُعدِ 30.0 cm من عدسةٍ مفرِّقةٍ بُعدُها البؤريُّ 40.0 cm؟ احسبْ تكبيرَ الصورةِ.

**47.** مُعاملُ انكسارِ اللونِ الأحمرِ في الماءِ 1.331، ومُعاملُ انكسارِ اللونِ الأزرقِ 1.340، إذا دخلَ شعاعٌ ضوئيٌّ أبيضُ من الهواءِ إلى الماءِ بزاويةِ سقوطٍ $83.0^{\circ}$، فكم تكونُ زاويةُ انكسارِ اللونَيْنِ الأحمرِ والأزرقِ؟

**48.** يسقطُ شعاعٌ ضوئيٌّ من الهواءِ على سطحِ زيتٍ معدنيٍّ بزاويةِ سقوطٍ مقدارُها $23.1^{\circ}$ مع العمودِ على السطحِ. إذا كانَتْ سرعةُ الضوءِ في الزيتِ $2.17 \times 10^{8}$ m/s، فكم تكونُ زاويةُ الانكسارِ؟ (ملاحظة: تذكَّرْ تعريفَ مُعاملِ الانكسارِ).

**49.** شعاعٌ ضوئيٌّ يسيرُ في الهواءِ ويصطدمُ بسطحٍ سائلٍ، إذا كانَتْ زاويةُ سقوطِه $30.0^{\circ}$ وزاويةُ انكسارِه $22.0^{\circ}$، جدِ الزاويةَ الحرجةَ للضوءِ المنتقلِ من السائلِ إلى الهواءِ.

**50.** قوانينُ الانعكاسِ والانكسارِ هي نفسُها للضوءِ وللصوتِ. سرعةُ الصوتِ في الهواءِ 340 m/s، وفي الماءِ 1510 m/s، إذا وصلَتْ موجةٌ صوتيَّةٌ منتشرةٌ في الهواءِ إلى سطحِ ماءٍ مستوٍ، بزاويةِ سقوطٍ $12.0^{\circ}$، فكم تكونُ زاويةُ الانكسارِ؟

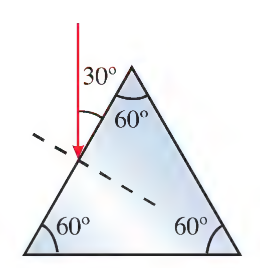
**51.** يسقطُ شعاعٌ ضوئيٌّ من الهواءِ على سطحِ قالبٍ من الثلجِ بزاويةِ سقوطٍ $40.0^{\circ}$ مع العمودِ، ينعكسُ جزءٌ من الضوءِ وينكسرُ الجزءُ الآخرُ، جدِ الزاويةَ بينَ الشعاعِ المنعكسِ والشعاعِ المنكسرِ.

**52.** المسافةُ بينَ جسمٍ وعدسةٍ لامّةٍ عشرةُ أمثالِ البُعدِ البؤريِّ للعدسةِ. ما بُعدُ الصورةِ عن العدسةِ؟ عبِّرْ عن إجابتِك بدلالةِ البُعدِ البؤريِّ.

**53.** أنبوبٌ من الأليافِ البصريَّةِ مُعاملُ انكسارِه 1.53، ما أقلُّ زاويةِ سقوطٍ داخلَ الأنبوبِ تؤدّي إلى انعكاسٍ كلِّيٍّ داخليٍّ إذا كانَ الأنبوبُ محاطًا

أ. بالهواءِ؟

ب. بالماءِ؟

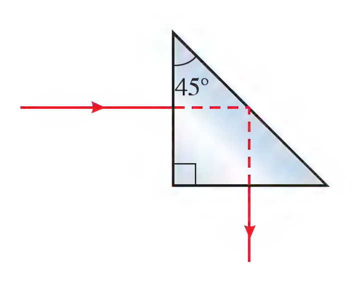



**54.** يسقطُ شعاعٌ ضوئيٌّ آتٍ من الهواءِ على منتصفِ سطحِ موشورٍ متساوي الأضلاعِ ($n = 1.50$) مُشكِّلاً زاويةَ 30.0° مع سطحِ الموشورِ، كما هو موضَّحٌ في الشكلِ أعلاه.

أ. أكملْ مسارَ الشعاعِ الضوئيِّ خلالَ الزجاجِ، واحسبْ زاويةَ سقوطِ الشعاعِ عند قاعدةِ الموشورِ.

ب. هل ينفذُ الشعاعُ من خلالِ قاعدةِ الموشورِ أم ينعكسُ كليًّا نحوَ الداخلِ؟

**55.** يسقطُ الضوءُ على سطحِ موشورٍ مُعاملُ انكسارِه $n = 1.8$ كما في الشكلِ أدناه، إذا كانَ الموشورُ محاطًا بمائعٍ معيَّنٍ، فما أقصى مُعاملِ انكسارٍ للمائعِ يسمحُ بالانعكاسِ الكلّيِّ داخلَ الموشورِ؟

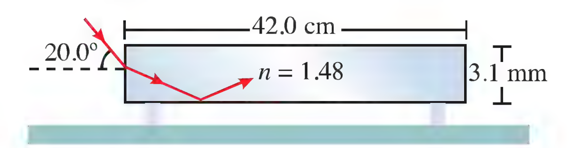



**56.** أنبوبٌ من الأليافِ البصريَّةِ يتألَّفُ من مادَّةٍ مركزيَّةٍ مغلَّفةٍ بطلاءٍ خارجيٍّ، مُعاملُ انكسارِ المنطقةِ الداخليَّةِ للقضيبِ 1.60، إذا كانَتْ كلُّ الأشعَّةِ المنطلقةِ داخلَ القضيبِ تتعرَّضُ لانعكاسٍ كلِّيٍّ داخليٍّ عندَما تُجاوزُ زاويةُ السقوطِ 59.5°، فكم يبلغُ مُعاملُ انكسارِ الطلاءِ؟

**57.** ينطلقُ ضوءٌ كشّافٌ من قاعِ حوضِ سباحةٍ عمقُه 4.00 m إلى أعلى، بحيثُ يصطدمُ بسطحِ الماءِ عندَ نقطةٍ تبعدُ 2.00 m عن النقطةِ الواقعةِ مباشرةً فوقَ الكشّافِ، فما الزاويةُ بينَ الشعاعِ النافذِ إلى الهواءِ وسطحِ الماءِ؟

**58.** موقعُ غوّاصةٍ على عمقِ 115 m تحتَ الماءِ، ويبلغُ بعدُها الأفقيُّ عن الشاطئِ 325 m، أُطلقَ شعاعُ ليزرٍ من الغوّاصةِ ليصطدمَ بسطحِ الماءِ عندَ نقطةٍ تبعدُ 205 m عن الشاطئِ. إذا وصلَ الشعاعُ إلى سطحِ مبنًى عندَ حافةِ الماءِ، فكم يكونُ ارتفاعُ المبنى؟ (ملاحظةٌ: لحسابِ زاويةِ السقوطِ، افترضِ المثلَّثَ القائمَ الزاويةِ المكوَّنَ من الشعاعِ الضوئيِّ والخطِّ الأفقيِّ المرسومِ عند مستوى الغوّاصةِ والخطِّ الرأسيِّ الافتراضيِّ من نقطةِ الاصطدامِ بالماءِ باتجاهِ قاعِ البحرِ.)

**59.** شعاعُ ليزرٍ ينطلقُ من الهواءِ ليصطدمَ بمنتصفِ أحدِ أضلاعِ قطعةٍ من مادةٍ مُعاملُ انكسارِها 1.48، كما في الرسمِ أدناه، احسبْ عددَ الانعكاساتِ الكلّيَّةِ الداخليَّةِ قبلَ أن ينفذَ شعاعُ الليزرِ من الضلعِ المقابلِ للقطعةِ.




**60.** يستعملُ مصوِّرٌ آلةَ تصويرٍ، البُعدُ البؤريُّ لعدستِها 4.80 cm، يحاولُ المصوِّرُ التقاطَ صورٍ لأشجارٍ قديمةٍ في غابةٍ، ويريدُ أن يركِّزَ العدسةَ على شجرةٍ قديمةٍ جدًّا على بُعدِ 10.0 m:

أ. كم يجبُ أن تكونَ المسافةُ بين العدسةِ والفيلمِ للحصولِ على صورةٍ مركَّزةٍ وواضحةٍ؟

ب. ما مسافةُ تحريكِ آلةِ التصويرِ لالتقاطِ صورةٍ واضحةٍ لشجرةٍ أخرى، على مسافةِ 1.75 m؟

**61.** المسافةُ بينَ مقدِّمةِ العينِ ومؤخِّرِها حوالي 1.90 cm. إذا كانَ باستطاعتِك رؤيةُ صورةٍ واضحةٍ لكتابٍ على مسافةِ 35.0 cm من عينَيك، فما البُعدُ البؤريُّ لنظامِ العدسةِ-القرنيَّةِ؟

**62.** افترضْ أنَّكَ تنظرُ من النافذةِ وترى زميلَكَ الواقفَ على مسافةِ 15.0 m بشكلٍ واضحٍ، إلى أيِّ بُعدٍ بؤريٍّ يجبُ أن تقلِّصَ أعصابُكَ البصريَّةُ عدسةَ العينِ، من أجلِ رؤيةٍ واضحةٍ؟ تذكَّرْ أن المسافةَ من مُقدِّمةِ العينِ إلى مؤخِّرِها حوالي 1.90 cm.

## المشاريع والتقارير

**1.** قابلِ اختصاصيَّ نظاراتٍ طبيَّةٍ، أو طبيبًا في أمراضِ العينِ. تعرَّفِ الأجهزةَ والأدواتِ التي يستعملُها كلٌّ منهما. أيُّ نوعٍ من أمراضِ العينِ يستطيعُ كلٌّ منهما معالجتَه؟

**2.** خُذْ موافقةَ أستاذِ مادةِ الأحياءِ في مدرستِك على استعمالِ مجهرٍ وشرائحَ مختبريَّةٍ. تعرَّفِ المكوِّناتِ البصريَّةَ (العدساتِ والمرايا والأجسامَ والمصادرَ الضوئيَّةَ) وأزرارَ التحكُّمِ. افهمْ طريقةَ عملِ تلك الأزرارِ عندَ تكبيراتٍ مختلفةٍ، مع الضبطِ اللازمِ للحصولِ على صورةٍ واضحةٍ. ارسمْ أشعَّةً لصورةٍ في مجهرٍ، وقدِّرْ حجمَ الصورةِ التي تراها، واحسُبِ الحجمَ الحقيقيَّ للخلايا أو الأنسجةِ الدقيقةِ التي تلاحظُها. ما مقدارُ التطابقِ بينَ تقديراتِك والتكبيرِ المحدَّدِ على المجهرِ؟

**3.** أنشئْ تلسكوبًا خاصًّا مُستعملاً أنبوبَيْن (أحدُهما أصغرُ من الآخرِ، بحيثُ ينزلقُ بداخلِه) وعدستَيْن وأقراصًا كرتونيَّةً، لتثبيتِ العدستَيْن، وشريطًا لاصقًا. افحصِ الجهازَ خلالَ الليلِ. وحاولِ استعمالَ عدساتٍ مختلفةٍ لتطويرِ عملِ الجهازِ. سجِّلْ نتائجَكَ واكتُبْ نشرةً حولَ طريقةِ إنشائِكَ.

**4.** قمْ ببحثٍ عن نقلِ إشاراتِ الهاتفِ والتلفازِ واللاسلكيِّ إلى مسافاتٍ بعيدةٍ، باستعمالِ الأليافِ البصريَّةِ. احصلْ على معلوماتٍ من شركاتِ الهاتفِ والتلفازِ واللاسلكيِّ، من أيِّ موادَّ تُصنعُ الأليافُ البصريَّةُ؟ ما أهمُّ خصائصِها؟ هل هناكَ شروطٌ على نوعِ الضوءِ الذي يُنقلُ عبرَ هذه الأليافِ؟ ما ميزاتُ تقنيَّةِ الأليافِ البصريَّةِ للبثِّ؟ أنتجْ نشرةً أو فيلمَ فيديو لإيضاحِ هذه التقنيَّةِ للمستهلكِ.



# الفصل 7

# اللونُ والاستقطاب
## *Color and Polarization*

للونِ الأبيضِ ألوانٌ أساسيَّةٌ مكوِّنةٌ تنتجُ عندَ مزجِها اللونَ الأبيضَ المرئيّ. وللضوءِ خاصيَّةٌ أخرى تسمحُ له أن يرشحَ بوساطةِ عدساتٍ مُستقطبةٍ خاصَّة. تُعدُّ صورُ التلفازِ الملوَّنةُ أحدَ التطبيقاتِ لمزجِ الألوانِ حيثُ تتوهَّجُ حبيباتُ شاشتِه بأحدِ الألوانِ عندَ اصطدامِ الإلكترونات.



## ما يُتوقعُ تحقيقُهُ

ستتعرَّفُ في هذا الفصلِ خصائصَ الألوانِ وتطبيقاتِها واستقطابَ الموجاتِ الضوئيَّةِ باهتزازةٍ وأنواعَها الثلاثة.

## ما أهميَّتُهُ

تكمنُ أهميَّةُ الألوانِ في استعمالِها في المركّباتِ الكيميائيَّةِ ومزجِ الأصبغة. وللاستقطابِ كذلك أهميَّةٌ أخرى في صنعِ عدساتٍ مُستقطبةٍ تساعدُ على تقليلِ وهجِ الإضاءة.

## محتوى الفصل 7

## القسم 1-7

# اللّونُ
# *Color*

### 1-7 مؤشّراتُ الأداءِ

- يعرفُ كيف تؤثِّرُ الألوانُ المضافةُ في لونِ الضوءِ.
- يعرفُ كيفَ يؤثِّرُ اللونُ الصبغيُ في لونِ الضوءِ المنعكسِ.

## مزجُ الألوان

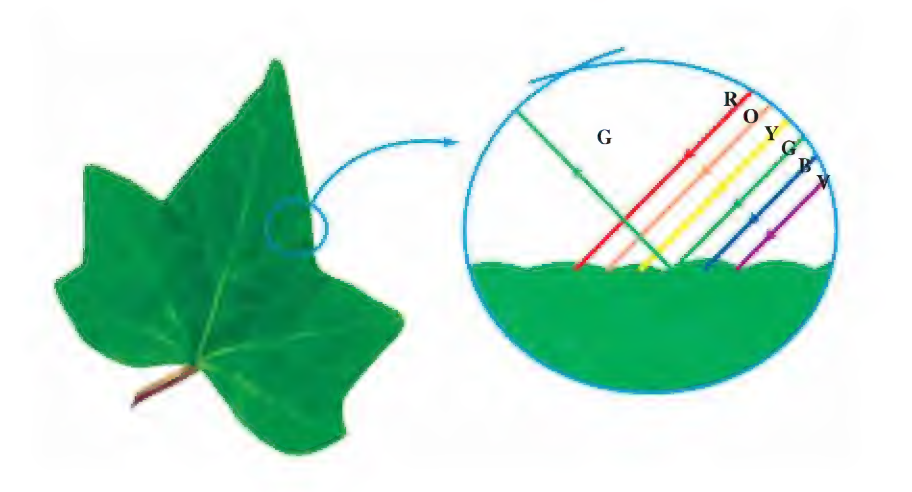
تلاحظُ أحيانًا أن لونَ جسمٍ ما يبدو مختلفًا تحتَ شروطِ إضاءةٍ معيَّنة. تنتجُ تلك الاختلافاتُ من اختلافِ خصائصِ الانعكاسِ والامتصاصِ للجسمِ المضاء.

لقد افترضْنا حتّى الآن أن الأجسامَ إمّا أن تكون كمرايا تعكسُ الضوءَ كلَّه بشكلٍ منتظم، أو أنّها أجسامٌ خشنةٌ تعكسُ الضوءَ بحيثُ ينتشرُ في اتجاهاتٍ مختلفة. لكن الأجسام تمتصُّ بعضَ الأطوالِ الموجيةِ للأشعةِ الساقطةِ عليها، وتعكسُ الباقي. يعتمدُ لونُ الجسمِ على الأطوالِ الموجيةِ التي تشعُّ على الجسمِ والأطوالِ الموجيةِ التي تنعكسُ عنه (**الشكل 7-1**).

إذا انعكسَتْ كلّيًّا جميعُ الأطوالِ الموجيةِ للأشعةِ الساقطةِ على جسم، فإن لونَ الجسمِ يبدو كلونِ الضوء المشع عليه ما يجعلُه يبدو جسمًا أبيضَ مضاء. أما الجسمُ الذي له لونٌ محدَّد، كالورقةِ الخضراءِ في **الشكل 7-1**، فإنه يمتصُّ الضوءَ الذي يشتملُ على كلِّ الألوانِ ما عدا الضوءَ الذي لونه كلَون الجسمِ نفسِه. بالمقابل، فإن الجسمَ الذي لا يعكسُ أيَّ ضوءٍ يبدو أسود. في الحقيقة، تبدو أوراقُ الأشجارِ خضراءَ فقط إذا كان لونُها الصبغيُّ الكلوروفيليُّ موجودًا. في فصلِ الخريفِ يتلفُ هذا اللونُ الصبغيُّ فتعكسُ الورقةُ ألوانًا أخرى من الأشعةِ الساقطةِ عليها.

### الألوانُ الأساسيةُ المضافةُ تكوِّنُ لونًا أبيضَ عندَ مزجِها

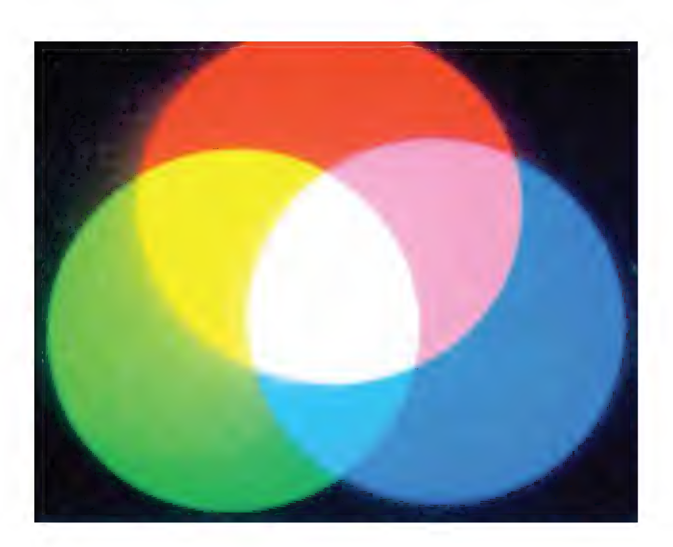
لما كان ممكنًا تفريقُ اللونِ الأبيضِ إلى ألوانهِ المكوِّنة، فمن المنطقيِّ أن نفترضَ أن مزجَ الألوانِ الأساسيةِ يعطي لونًا أبيض. ويُعتبَر استعمالُ موشورٍ لإعادةِ تجميعِ الضوء، الذي تمَّ تشتيته بوساطةِ موشورٍ آخر إحدى الطرق الممكنة. وتعتمدُ طريقةٌ أخرى على مزجِ الضوءِ الذي سبقَ أن مرَّ في مرشحٍ أحمرَ ثم أخضرَ ثم أزرق. تُسمّى هذه الألوانُ ألوانًا أساسيةَ مضافة، لأنها تُضافُ بنِسَبٍ متفاوتة، إذ بإمكانها إنتاجُ ألوانِ الطيفِ كافَّة.




**الشكل 7-1**

تبدو ورقةُ النباتِ خضراءَ لدى سقوطِ الضوءِ الأبيضِ عليها، لأن اللونَ الصبغيَّ الأساسيَّ للورقة يعكسُ اللونَ الأخضرَ فقط.

عندما يُمزجُ اللونُ الخارجُ من مرشّحٍ أحمر مع اللونِ الخارجِ من مرشّحٍ أخضر، نحصلُ على بقعةٍ صفراءَ اللون. إذا مُزجَ اللونُ الأصفرُ هذا مع لونٍ أزرق، لا يكونُ للضوءِ الناتجِ أيّ لون، أي «أبيض» كما هو موضَّحٌ في **الشكل 7-2**. ولما كانَ اللونُ الأصفرُ هو اللونُ المطلوبُ إضافتُه إلى اللونِ الأزرقِ الأساسيِّ المضافِ للحصولِ على اللونِ الأبيض، فإن اللونَ الأصفرَ يُسمّى اللونَ المكمِّلَ للونِ الأزرق. يمكنُ خلطُ لونَين أساسيَّين للحصولِ على اللونِ المكمِّلِ للّونِ الثالثِ الأساسي، كما في **الجدول 7-1**.



**الشكل 7-2**

ينتجُ مزجُ أيِ لونَين أساسيَّين مضافَين، في تقاطعِ أيِ دائرتَين، اللونَ المكمِّلَ للّونِ الأساسيِّ الثالثِ المضاف.

أحدُ تطبيقاتِ الألوانِ الأساسيةِ المضافة، هو استعمالُها في بعضِ المركَّباتِ الكيميائية، لصبغِ الزجاجِ بلونٍ معيَّن. تعطي مركَّباتُ الحديدِ الزجاجَ لونًا أخضر. كما تُكسِبُه مركَّباتُ المغنيزيوم لونًا أزرقَ مائلاً إلى الحمرة. الأخضرُ والأزرقُ المائلُ إلى الحمرةِ لونان مكمِّلان. لذلك يؤدّي خلطُ نسبٍ صحيحةٍ من هذَين المركَّبَين إلى إنتاجِ تركيبٍ يتساوى فيه اللونان، فيبدو الزجاجُ بلا لون.

وتعدُّ صورُ التلفازِ الملوّنةُ أحدَ التطبيقاتِ الأخرى لمزجِ الألوان. تتألّفُ شاشةُ التلفازِ من حبيباتِ صباغٍ صغيرةٍ مضيئةٍ تتوهَّجُ بأحدِ الألوان، الأحمرِ أو الأخضرِ أو الأزرق، عندَ اصطدامِ الإلكتروناتِ بها (انظرِ **الشكل 7-3**).

إن التغييرَ في شدَّةِ إضاءةِ الحبيباتِ المختلفةِ في مناطقَ مختلفةٍ من الصورة، يُنتجُ صورةً بألوانٍ متعدِّدةٍ في الوقتِ نفسِه.

يستطيعُ الإنسانُ التمييزَ بينَ الألوانِ لوجودِ ثلاثةِ أنواعٍ من مُستقبِلاتِ الألوانِ في العين، تُسمّى كلٌّ منها خليةً مخروطية، والتي تستطيعُ التمييزَ بين الألوانِ الحمراءِ والخضراءِ والزرقاء. يحفِّزُ الضوءُ ذو الأطوالِ الموجيةِ المختلفة تركيبًا محدَّدًا من تلك المستقبلات، بحيثُ يمكنُ رؤيةُ قطاعٍ واسعٍ من الألوان.



**الشكل 7-3**

تم ضبطُ إضاءةِ حبيباتِ الصباغِ الحمراءِ والخضراءِ والزرقاءِ في شاشةِ تلفازٍ ملوَّن، بحيث تُرى جميعُ الألوانِ في صورةٍ واحدة، وعن مسافةٍ معيَّنة.

**الجدول 7-1 الألوانُ الأساسيةُ المضافةُ والممتصَّة**

| الألوان | المضاف (مزجُ الضوء) | الممتصّ (مزجُ الصباغ) |
|---|---|---|
| الأحمر | الأساسي | مكمِّلٌ للأخضرِ الغامق |
| الأخضر | الأساسي | مكمِّلٌ للأزرقِ المائلِ إلى الحمرة |
| الأزرق | الأساسي | مكمِّلٌ للأصفر |
| الأخضرُ الغامق | مكمِّلٌ للأحمر | الأساسي |
| الأزرقُ المائلُ إلى الحمرة | مكمِّلٌ للأخضر | الأساسي |
| الأصفر | مكمِّلٌ للأزرق | الأساسي |

# مزجُ الأصبغة

## عمليَّة خلط الأصباغ هي عملية طرح الألوان

عندَ مزجِ الضوءَين الأزرقِ والأصفر نحصلُ على ضوءٍ أبيض. أما إذا مُزِجَ صباغٌ أزرق (كطلاءٍ أو صمغٍ ملوَّن) مع صباغٍ أصفر، فإن اللونَ الناتجَ يكونُ أخضرَ وليسَ أبيض. ينتجُ الفرقُ عن كونِ حبيباتِ الطلاءِ تعتمدُ على لونِ الضوء الذي يتمُّ امتصاصُه، أو اختزالُه، من الأشعةِ الساقطة.

فالحبيباتُ الصفراءُ، مثلاً، تمتصُّ اللونَين الأزرقَ والبنفسجيَّ من الضوءِ الأبيض، بينما تعكسُ الألوانَ الأحمرَ والبرتقاليَّ والأصفرَ والأخضر. أما الحبيباتُ الزرقاءُ فإنها تمتصُّ الألوانَ الأحمرَ والأصفرَ والبرتقاليَّ من اللونِ الأبيض، وتعكسُ الأخضرَ والأزرقَ والبنفسجي. لذلك يتمُّ عندَ مزجِ الحبيباتِ الصفراء والزرقاء، انعكاسُ الضوءِ الأخضرِ فقط.

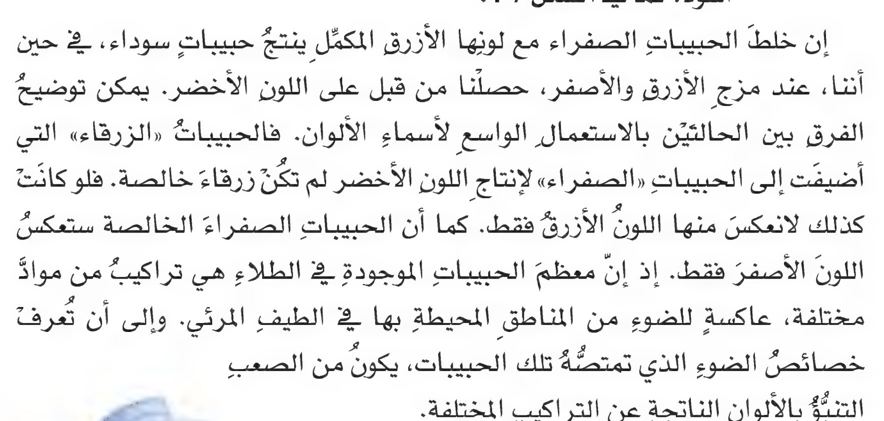
عندَ مزجِ حبيباتِ الطلاءِ ذاتِ الألوانِ المختلفة، يمتصُّ كلُّ نوعٍ منها بعضَ الألوانِ من الضوءِ الأبيض، ويعتمدُ اللونُ الناتجُ على الترددُّاتِ التي لم يتمَّ امتصاصُها. الحبيباتُ الصفراء (أو الألوانُ الأساسيةُ المتصَّةُ كما تُسمّى أحيانًا) هي الأزرقُ المائلُ إلى الحمرة، والأخضرُ الغامق، والأصفر. هذه الألوانُ هي الألوانُ المكمّلةُ للألوانِ الأساسيةِ المضافة، كما في **الجدول 7-1**. عندَ مزجِ أيِّ لونَين أساسيَّين ممتصَّيْن، ينتجُ أحدُ ألوان الحبيباتِ: الأحمرُ أو الأخضرُ أو الأزرق. عندَ مزجِ ثلاثةِ أنواعِ حبيباتٍ أساسية، وفق النسبةِ المطلوبة، تُمتصُّ جميعُ الألوانِ من اللونِ الأبيض، ويصبحُ المزيجُ أسود، كما في **الشكل 7-4**.



**الشكل 7-4**

إن مزجَ الألوانِ الأساسيةِ الممتصَّة بأيِّ مرشَّحَين يُنتِجُ اللونَ المكمِّلَ للونِ الثالثِ الأساسيِّ الممتصّ.

إن خلطَ الحبيباتِ الصفراء مع لونِها الأزرقِ المكمِّل ينتجُ حبيباتٍ سوداء، في حين أننا، عند مزجِ الأزرقِ والأصفر، حصلْنا من قبل على اللونِ الأخضر. يمكن توضيحُ الفرقِ بين الحالتَيْن بالاستعمالِ الواسعِ لأسماءِ الألوان. فالحبيباتُ «الزرقاء» التي أضيفَت إلى الحبيباتِ «الصفراء» لإنتاجِ اللونِ الأخضر لم تكُنْ زرقاءَ خالصة. فلو كانَتْ كذلك لانعكسَ منها اللونُ الأزرقُ فقط. كما أن الحبيباتِ الصفراءَ الخالصة ستعكسُ اللونَ الأصفرَ فقط. إذ إنَّ معظمَ الحبيباتِ الموجودةِ في الطلاءِ هي تراكيبُ من موادَّ مختلفة، عاكسةٍ للضوءِ من المناطقِ المحيطةِ بها في الطيفِ المرئي. وإلى أن تُعرفَ خصائصُ الضوءِ الذي تمتصُّهُ تلك الحبيبات، يكونُ من الصعبِ التنبُّؤُ بالألوانِ الناتجةِ عن التراكيبِ المختلفة.



## الفيزياءُ والحياة

1. **ألوان البطانيَّة** اللونُ البنيُّ مزيجٌ من اللونِ الأصفرِ مع قليلٍ من الأحمرِ والأخضر. إذا سَلَّطْتَ ضوءًا أحمرَ على بطانيَّةٍ صوفيةٍ بنّيَّة، فكيف يبدو لونُها؟ هل ستبدو أفتحَ أم أغمق، بالمقارنةِ مع تعرُّضِها للضوءِ الأبيض؟ أوضحْ إجابتَك.

2. **الطباعةُ الزرقاء** إذا نظرْنا إلى طباعةٍ زرقاءَ على خلفيةٍ بيضاءَ تحتَ ضوءٍ أزرق، فهل نتمكَّنُ من ملاحظةِ الطباعة؟ كيف تبدو الطباعةُ الزرقاءُ تحتَ الضوءِ الأصفر؟

## مراجعةُ القسم 1-7

1. طُليَت عدسةُ ضوءٍ كشّاف، بحيثُ لا ينفذُ من خلالِها اللونُ الأصفر. إذا كانَ مصدرُ الضوءِ أبيض، فما لونُ ضوءِ الكشّاف؟

2. طُلِيَ منزلٌ بصباغٍ يعكسُ اللونَين الأحمرَ والأزرق، ويمتصُّ باقي الألوان. كيف يبدو لونُ المنزلِ عندَ إضاءتِه باللونِ الأبيض؟ ماذا لو أضيءَ بلونٍ أحمر؟

3. **تفكيرٌ ناقد:** ما الصباغاتُ الأساسيةُ التي يحتاجُ فنّانٌ إلى مزجِها، للحصولِ على لونٍ أخضرَ شاحبٍ يميلُ إلى الأصفر؟ ما الألوانُ الأساسيةُ المضافةُ التي يحتاجُ مسؤولُ الإضاءةِ في مسرحٍ إلى مزجِها للحصولِ على اللونِ نفسِه بوساطةِ الضوء؟




# استقطابُ الموجاتِ الضوئيَّة
## *Polarization of Light Waves*

### 7-2 مؤشّراتُ الأداءِ

- يتعرَّفُ أنواع الاستقطاب.
- يوضحُ كيف يتمُّ الحصولُ على ضوءٍ مُستقطبٍ خطيًا وكيف يتمُّ فحصُه.
- يوضحُ الاستقطابَ بوساطةِ موشورِ نيكول.

ربَّما شاهدْتَ النظّاراتِ ذاتِ العدساتِ المُستقطِبَة، التي تقلّلُ من وهجِ الإضاءة، دون قطعِ الضوءِ نهائيًّا. هناك خاصّيّةٌ للضوءِ تسمحُ لبعضِ الضوءِ بأن يرشح، بوساطةِ موادَّ موجودةٍ في العدسات.

في الموجةِ الكهرومغنطيسية، يكونُ المجالُ الكهربائيُّ متعامدًا مع كلٍّ من المجالِ المغناطيسيِّ واتجاهِ انتقالِ الموجة. يتكوَّنُ الضوءُ القادمُ من مصادرَ عادية من موجاتٍ يكونُ فيها اتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ عشوائيًّا، وفي كافةِ الاتجاهات، كما في **الشكل 7-5**. يُسمّى الضوءُ في هذهِ الحالةِ ضوءًا غيرَ مُستقطَبٍ.

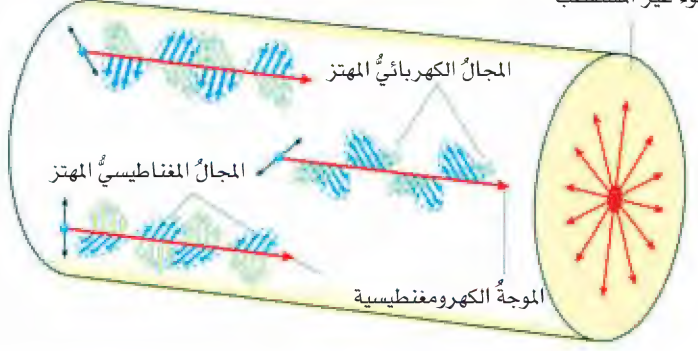
يمكنُ التعامُل مع اهتزازاتِ المجالِ الكهربائيِّ في الضوءِ غيرِ المُستقطَبِ كمركَّبتَين رأسيَّةٍ وأفقيَّة، للمجالِ المهتز. هناك طرقٌ لفصلِ الموجاتِ ذات المجالِ الكهربائيِّ المهتزّ أفقيًّا عن موجاتِ المجالِ المهتزِّ رأسيًّا، فينتجُ عن ذلك ضوءٌ مستقطب يهتزُّ في اتجاهٍ واحد، كما في **الشكل 7-6**، يكونُ لموجاتِهِ الناتجة **استقطابٌ خطّي linear polarization**. يتمُّ استقطابُ الضوءِ الطبيعيِّ بالنفاذِ أو بالانعكاسِ أو بالانكسارِ المضاعَف.

**الاستقطابُ الخطّي**

اصطفافُ الموجاتِ الكهرومغنطيسيةِ بحيثُ تكونُ اهتزازاتُ مجالِها الكهربائيِّ متوازية.

## استقطابُ الضوءِ بالنفاذ

يؤدّي مرورُ الضوءِ غيرِ المُستقطَبِ داخلَ بعضِ البلّوراتِ الشفّافةِ إلى استقطابِه خطّيًّا. يتحدَّدُ اتجاهُ استقطابِ المجالِ الكهربائيِّ، بحسبِ ترتيبِ ذرَّاتِ البلّورةِ وجزيئاتِها.




**الشكل 7-5**

يُنتجُ المجالُ الكهربائيُّ المهتزُّ بطريقةٍ عشوائيةٍ ضوءًا غيرَ مُستقطب.

حزمة من الضوء المستقطب
المجالُ الكهربائيُّ المهتز
المجالُ المغناطيسيُّ المهتز
الموجةُ الكهرومغنطيسية

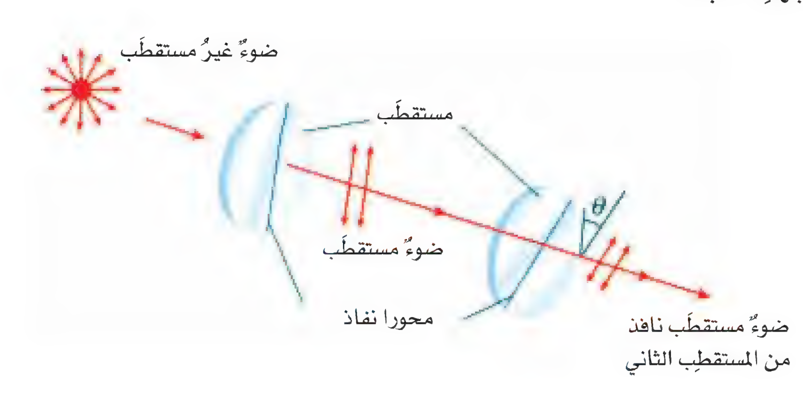
**الشكل 7-6**

تكونُ الموجاتُ الضوئيةُ ذاتُ المجالِ الكهربائيِّ المُتراصفِ مُستقطَبةً خطّيًّا.

في الموادِّ التي تؤدّي إلى استقطابِ الضوء، يُسمّى اتجاهُ الاستقطابِ محورَ نفاذِ المادة. لا ينفذُ خلالَ المادةِ إلا الموجاتُ الضوئيّةُ التي يتوازى اتجاهُ اهتزازِها مع محورِ نفاذِ المادة. أما الموجاتُ التي تهتزُّ بزاويةٍ متعامدةٍ مع محورِ النفاذ، فلا تنفذُ من خلال المادة.

إذا وُضِعَت شريحتا استقطابٍ وكانَ محورا نفاذِهما متوازيَين، فإن الضوءَ يمرُّ خلالَهما كما في **الشكل 7-7** (أ). أما إذا كانَ محورا نفاذهما متعامدَين، كما في **الشكل 7-7 (ب)**، فإن الضوءَ لن يمرَّ من خلالهما.

لا تُستعملُ المادةُ المستقطِبَة فقط لإنتاجِ ضوءٍ مستقطَبٍ خطيًّا، بل تُستعملُ أيضًا لتحديدِ ما إذا كانَ ضوءٌ ما مستقطَبًا، ومعرفةِ اتجاهِ استقطابِه. عند تدويرِ المادةِ المستقطِبة أثناءَ مرورِ ضوءٍ مستقطَبٍ عبرَها، يمكنُ ملاحظةُ تغيُّرٍ في شدَّةِ الإضاءة، كما في **الشكل 8-7**. تكونُ شدَّةُ الإضاءةِ أكبرَ ما يمكنُ عندَما يكونُ اتجاهُ استقطابِ الضوءِ موازيًا لمحورِ نفاذِ المادة. ومع ازديادِ الزاويةِ بينَ اتجاهِ اهتزازِ المجالِ الكهربائيِّ ومحورِ النفاذ، تقلُّ مركَّبةُ الموجةِ التي تنفذُ من خلالِ المستقطِب، وتقلُّ بالتالي شدَّةُ الإضاءة. عندَما يصبحُ محورُ النفاذِ متعامدًا مع مستوى اهتزازِ الضوء، لا ينفذُ أيُّ ضوءٍ إلى الجهةِ المقابلة.







**الشكل 7-7**

(أ) يمرُّ الضوءُ خلالَ شريحتَي استقطاب عندَما يكونُ محورا استقطابِهما متوازيَين.
(ب) عندَما يكونُ المحوران متعامدَين لا تنفذُ الإضاءةُ إلى الجهةِ المقابلة.

**الشكل 8-7**

تنخفضُ شدَّةُ إضاءةِ الضوءِ المُستقطَب كلّما ازدادتِ الزاويةُ بينَ محورِ نفاذِ المستقطِبِ الثاني واتجاهِ استقطابِ الضوء.

# استقطابُ الضوءِ بالانعكاسِ

إنَّ أبسطَ الطرائقِ المتّبعةِ لتوليدِ ضوءٍ مُستقطَبٍ استقطابًا مستقيمًا هي طريقةُ الانعكاسِ عن السطحِ الفاصلِ بين وسطَيْن عازلَيْن، كالهواءِ والزجاجِ مثلاً، وتسمّى الانعكاسَ الزجاجيّ. يحصلُ هذا النوعُ من الاستقطابِ عند سقوطِ وانكسارِ ضوءٍ طبيعيٍّ وحيدِ اللونِ على السطحِ المستوي للوحٍ زجاجيٍّ (مرآةٍ مستويةٍ) بزوايا مختلفة.

## نشاط عملي سريع

### استقطابُ ضوءِ الشمس

**المواد**

- ✓ قطعةٌ من شريحةِ استقطاب، أو نظّارةُ استقطاب.

**إرشاداتُ السلامة**

لا تنظرْ إلى الشمسِ بشكلٍ مباشر.

في فترةٍ ما قبلَ الظهرِ أو بعدَه، عندَما تكونُ الشمسُ بعيدةً عن الأفق، لكن ليس في منتصفِ السماء، انظرْ إلى السماءِ بشكلٍ رأسيٍّ من خلالِ شريحةِ استقطاب. لاحظِ انخفاضَ شدَّةِ الضوء.

دوِّرِ المستقطِب. حاولْ تحديدَ موضعِ المستقطِبِ الذي تبدو إضاءةُ السماءِ من خلالِه أقلَّ ما يمكن.

أعدِ التجربةَ على ضوءٍ قادمٍ من مناطقَ أخرى من السماء. افحصِ الضوءَ المنعكسَ عن طاولةٍ قربَ نافذة. قارنْ بينَ نتائجِ التجاربِ المختلفة.

عندَما ينعكسُ الضوءُ بزاويةٍ معينةٍ عندَ سطحٍ ما، يكونُ الضوءُ المنعكسُ مستقطَبًا خطِّيًّا بشكلٍ تام، وموازيًا لسطحِ الانعكاس. أمّا إذا كانَ سطحُ الانعكاسِ موازيًا للأرض، يكونُ الضوءُ المنعكسُ مستقطبًا أفقيًّا، كما في حالةِ الضوءِ الساطعِ المنعكسِ بزاويةٍ صغيرةٍ من الطرقاتِ وسطوحِ المياهِ والسيارات.

بما أن الضوءَ الذي يسبِّبُ التوهُّجَ يكونُ في الغالبِ مُستقطَبًا أفقيًّا، فمن الممكن إعاقتُه بوساطةِ مادةٍ مُستقطِبةٍ ذاتِ محورِ نفاذٍ رأسي. هذه هي حالةُ نظّاراتِ الاستقطابِ الموضَّحةِ في **الشكل 7-9**، حيثُ الزاويةُ بينَ اتجاهِ استقطابِ الضوءِ المنعكسِ ومحورِ النفاذ $90^\circ$. لذلك لا يستطيعُ أيُّ جزءٍ من الضوءِ المستقطَبِ النفاذ.



**الشكل 7-9**
يكونُ الضوءُ المنعكسُ مستقطَبًا أفقيًّا عندَ زاويةِ سقوطٍ محدَّدة. يمكنُ صدُّ الضوءِ المنعكسِ بوضعِ محورِ نفاذِ النظارةِ المُستقطِبةِ في الاتجاهِ الرأسي.

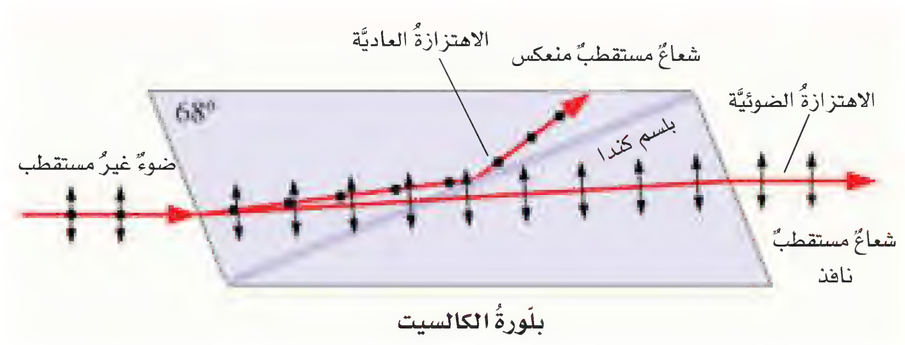
# استقطابُ الضوءِ بالانكسارِ المضاعَف

لم تتَّضحْ ظاهرةُ استقطابِ الضوءِ بالانكسارِ المضاعَف إلاّ في عام 1808 عندَما راقبَ مالوس Malos انعكاسَ ضوءِ الشمسِ عن الزجاجِ من خلالِ بلّورةِ الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$). فقد رأى حينَها صورتَيْن للشمسِ ولاحظَ أنّه إذا أُديرَتِ البلّورةُ اشتدَّ ضياءُ إحدى الصورتَيْن وضعفَ ضياءُ الأخرى.

## موشورُ نيكول

مقطِّبٌ صمَّمَه نيكول عام 1829، يُستعملُ لتوليدِ حزمةٍ من ضوءٍ مُستقطَب. ويتألَّفُ من بلّورةٍ من الكالسيت بأبعادٍ مناسبةٍ وتُشطرُ شطرَيْن بزاويةِ $68^\circ$ وفقَ مستوٍ عموديّ على محورِها، ثمّ يلصقُ الشطران بطبقةٍ رقيقةٍ من بلسمِ كندا الذي يبلغُ مُعامِلُ انكسارِه 1.55.

يدخلُ الضوءُ غيرُ المستقطَبِ أحدَ طرفَي البلّورة، كما يظهرُ في **الشكل 7-10**، وينشطرُ إلى شعاعَيْن مستقطبَيْن: واحدٌ منهما ويُسمّى المستقطَب المنعكس، ينعكسُ كلّيًّا عن سطحِ البلسمِ الفاصل، لأنّ مُعامِل انكساره 1.658 يزيد عن 1.55. في حين أنَّ الشعاعَ الآخر، ويُسمّى المستقطَبَ النافذ، لا ينعكسُ عن السطحِ الفاصلِ بل ينفذُ إلى نصفِ الموشورِ الثاني كضوءٍ مستقطَبٍ مستوٍ.




**الشكل 7-10**
استقطابُ الضوءِ بوساطةِ موشورِ نيكول.

## مراجعةُ القسم 7-2

1. كيفَ تعرفُ إن كانَت عدستا نظّارةٍ شمسيَّةٍ مستقطبَتَيْن أم غيرَ مستقطبتيْن؟ اشرحْ.
2. **تفكيرٌ ناقد:** تتمُّ مراقبةُ الضوءِ المنعكسِ عن سطحِ بركةِ ماءٍ من خلالِ مُستقطب. كيف تتحقَّقُ من أنَّ الضوءَ المنعكسَ مُستقطبًا؟




# الاستطارة
## *Scattering*

### 3-7 مؤشّراتُ الأداءِ

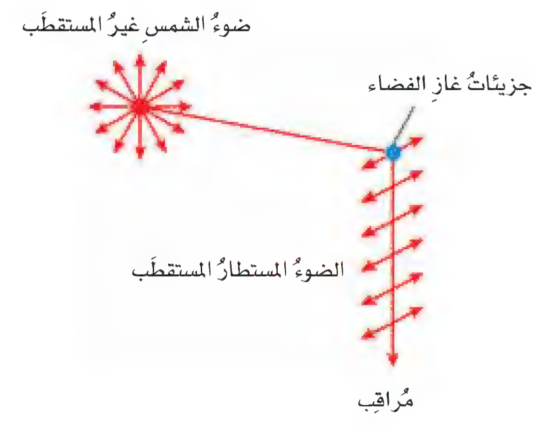
- يعرِّفُ الاستطارة.
- يوضِّحُ الاستقطابَ بوساطةِ الاستطارة.

بالإضافةِ إلى طريقةِ الاستقطابِ السابقة، يمكنُ للاستطارةِ أيضًا أن تُصدرَ ضوءًا مُستقطَبًا. عندَما تسقطُ حزمةٌ ضوئيَّةٌ طبيعيَّةٌ على جزيئاتٍ أو جسيماتٍ أبعادُها من مرتبةِ طولِ موجةِ الضوءِ يتشتّتُ الضوءُ في كلِّ الاتجاهات، ويُلاحَظُ أنّ الضوءَ المشتّتَ في اتّجاهٍ ما يكونُ مُستقطَبًا استقطابًا جزئيًّا، ويكونُ مُستقطَبًا استقطابًا تامًّا إذا كان مشتّتًا في اتّجاهٍ عموديٍّ على اتّجاهِ الحزمةِ الأصليَّة، وتكونُ اهتزازاتُه عموديَّةً على اتّجاهِ انتشارِ هذه الحزمة.

**الاستطارةُ** scattering هي امتصاصُ الضوءِ بوساطةِ جسيماتِ الفضاءِ وإعادةُ إشعاعِه بوساطتِها. فيمكنُها إنتاجَ ضوءٍ مستقطَبٍ كما في **الشكل 7-11**. عندَما تصطدمُ حزمٌ غيرُ مستقطَبةٍ من الضوءِ بجزيئاتِ الهواء تبدأُ إلكتروناتُ تلك الجزيئاتِ بالاهتزازِ مع المجالِ الكهربائيِّ للموجةِ الساقطة. تُصدرُ الاهتزازاتُ الأفقيةُ للإلكتروناتِ ضوءًا مستقطَبًا أفقيًّا، كما تنتجُ حركتُها الرأسيةُ موجةً مستقطَبةً رأسيًّا وموازيةً للأرض. لذلك يرى المُراقِبُ الذي ينظرُ إلى السماءِ والشمسُ من خلفِه، ضوءًا مُستقطَبًا.

**الاستطارة**

امتصاصُ الضوءِ بوساطةِ جُسيماتِ الفضاءِ وإعادةِ إشعاعِه.




**الشكل 7-11**
تؤدّي استطارةُ ضوءِ الشمسِ بوساطةِ جزيئاتِ الهواء إلى استقطابِ الضوءِ بالنسبةِ إلى مُراقبٍ على سطحِ الأرض.

## مراجعةُ القسم 3-7

1. ماذا يحصلُ عندَما تسقطُ حزمةٌ ضوئيَّةٌ على سطحٍ أبعادُ جُسيماتِه من مرتبةِ طولِ موجةِ الضوءِ الساقط؟
2. **تفكيرٌ ناقد:** مراقبٌ ينظرُ إلى السماءِ والشمسُ من خلفِه. كيفَ تفسِّرُ رؤيتَه لضوءٍ مُستقطَب؟

# ملخّصُ الفصل 7

## أفكارٌ أساسيَّة

### القسم 7-1 اللون

- الألوان الأساسيّة المضافة تكوِّن لونًا أبيض عند مزجها.
- الألوان الأساسيّة المتصَّة ترشح كلّ الضوء عند مزجها.
- يمكنُ إنتاجُ إضاءةٍ مختلفةِ الألوان بمزجِ الأضواءِ ذاتِ الألوان الأساسيةِ المضافة (الأحمرِ والأخضرِ والأزرق).
- يمكنُ إنتاجُ صباغاتٍ ذاتِ ألوانٍ محدَّدةٍ بمزجِ ألوانٍ ممتصّة.

### القسم 7-2 استقطابُ الموجاتِ الضوئيَّة

- في الموجةِ الكهرومغنطيسيّةِ، يكونُ المجالُ الكهربائيُّ متعامدًا مع كلٍّ من المجال المغناطيسيِّ واتّجاهِ الموجة.
- استقطابُ الضوءِ يحصلُ بالنفاذِ أو بالانعكاس أو بالانكسارِ المضاعَف.

### القسم 7-3 الاستطارة

- استقطابُ الضوءِ بالاستطارةِ يولِّدُ ضوءًا مُستقطبًا استقطابًا جزئيًّا أو كلّيًّا.

## مصطلحاتٌ أساسيَّة

الاستقطاب الخطّي

Linear polarization (ص 180)

الاستطارة Scattering (ص 184)



# مراجعةُ الفصل 7

## راجعْ وقيِّمْ

## اللون

### أسئلةُ مراجعة

1. ما الألوانُ الثلاثةُ الرئيسةُ المضافة؟ علامَ تحصلُ عند مزجِها؟
2. ما الألوانُ الثلاثةُ الرئيسةُ المتصَّةُ (أو الصباغاتُ الأساسية)؟ علامَ تحصلُ عند مزجِها؟
3. لماذا يمكنُ استعمالُ قرصٍ مُستقطِبٍ لقطعِ الضوءِ الذي سبقَ أن مرَّ خلالَ مستقطِبٍ آخر. كيفَ يكونُ اصطفافُ المستقطِبَيْنِ أحدُهما مع الآخر؟

### أسئلةُ حولَ المفاهيم

4. ماذا يحصلُ عندما تُمزجُ الأشياءُ التالية؟
   أ. صباغٌ أخضرُ غامقٌ مع آخرَ أصفر
   ب. ضوءٌ أزرقٌ مع آخرَ أصفر
   ج. صباغٌ أزرقٌ صافٍ مع آخرَ أصفرَ صاف
   د. ضوءٌ أخضرُ مع آخرَ أحمر
   هـ. ضوءٌ أخضرُ مع آخرَ أزرق
5. كيفَ يبدو لونُ قميصٍ أزرقَ مائلٍ إلى الحمرة تحتَ الألوانِ الضوئيَّة التالية؟
   أ. الأبيض
   ب. الأحمر
   ج. الأخضر الغامق
   د. الأخضر
   هـ. الأصفر
6. تعكسُ إحدى الموادِّ اللونَين الأخضرَ والأزرق. كيف يبدو لونُها إذا أضيئَتْ :
   أ. باللون الأبيض؟
   ب. باللون الأحمر؟

## استقطابُ الموجاتِ الضوئيَّة

### أسئلةُ مراجعة

7. ما الطرقُ الثلاثُ لاستقطابِ الضوء؟

### أسئلةُ حولَ المفاهيم

8. لماذا تستطيعُ نظارةٌ مزوَّدةٌ بعدساتٍ مُستقطِبةٍ إزالةَ الوهجِ عندَما تنظرُ إلى سطحِ سيارتِكَ أو إلى سطحِ ماءٍ بعيد، وليسَ إلى خزّانٍ معدنيٍّ عالٍ يُستعملُ لحفظِ السوائل؟
9. هل ضوءُ النهارِ مستقطَب؟ لماذا تبدو السحبُ من خلالِ مُستقطِبٍ أكثرَ دكنةً مقابل السماء؟

## الاستطارة

### أسئلةُ مراجعة

10. ما الاستطارةُ وكيفَ يمكنُها إنتاجُ ضوءٍ مُستقطَب؟
11. ما الفرقُ بينَ الاستقطابِ الجزئيِّ لضوءٍ مشتّتٍ والاستقطابِ الكلّيّ؟

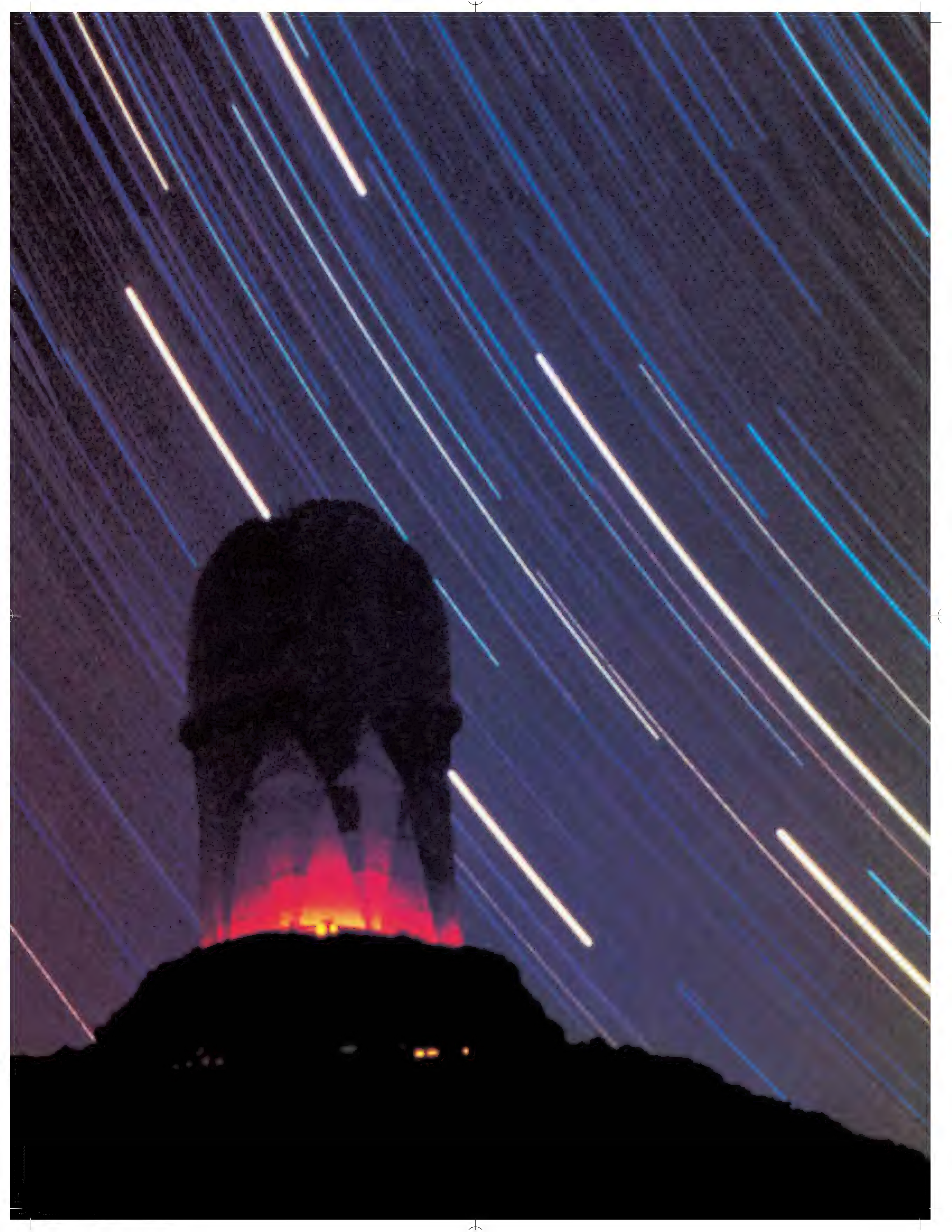
## مراجعةٌ عامَّة

12. تمَّ تسليطُ ضوءٍ أزرقَ على علمِ كردستان. ما الألوانُ التي تظهرُ؟ اشرحْ.
13. كيفَ يظهرُ لونُ السماءِ من خلالِ مرشّحٍ أحمر؟
14. ماذا يحصلُ عندَ سقوطِ ضوءٍ طبيعيٍّ على موشور؟ اشرحْ.
15. ارسمْ موشورَ نيكول واشرحْ كيفيَّةَ الحصولِ على شعاعَيْن، أحدُهما مُنعكسٌ والآخرُ مُستقطَب.

## المشاريع والتقارير

1. تشتملُ مستحضراتُ الحمايةِ من أشعةِ الشمسِ على موادَّ تمتصُّ الأشعةَ فوقَ البنفسجية، وتمنعُها بالتالي من إتلافِ خلايا الجلد. صمِّمْ تجربةً لفحصِ مركَّباتٍ مختلفةٍ من مستحضراتِ الحمايةِ من أشعةِ الشمس. استعملْ أوراقًا للطباعةِ الزرقاءِ وأفلامًا ونباتاتٍ وموادَّ حسَّاسةً أخرى. اكتُبِ الأسئلةَ التي تتدرَّجُ فيها بالبحث، والموادَّ التي تلزمُك، والخطواتِ التي تريدُ اتّباعَها، والقياساتِ التي تنوي إجراءَها. قمْ بالتجربةِ بعدَ موافقةِ المعلّم، وقدِّمْ تقريرَك أو اعرضْ نتائجَك في الصف.

2. قمْ ببحثٍ حولَ ظاهرةِ الاستقطابِ وأنواعِه وطرائقِ الحصولِ على ضوءٍ مستقطبٍ بدءًا من العام 1800 وحتى عصرِنا الحالي. ضمِّن بحثَك التطبيقاتِ العمليّةَ للاستقطاب.





# قسمُ الملاحق

# الملحق (أ): مراجعةٌ في الرياضيّات

## الترميزُ العلميّ

### قوى العشَرةِ الموجبةِ

الكثيرُ من الكمّيّاتِ التي يتعاملُ بها العلماءُ تكونُ، في الغالبِ، كبيرةً جدًّا أو صغيرةً جدًّا. فللضوءِ مثلاً سرعةٌ مقدارُها حوالي 300 000 000 m/s، والحبرُ اللازمُ لوضعِ نقطةٍ على حرفٍ تبلغُ كتلتُه 0.000 000 001 kg. يربكُنا التعاملُ مع أرقامٍ كهذه. ولتفادي هذا الإرباكِ نستعملُ طريقةً تعتمدُ على قوى الرقمِ 10.

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$10^2 = 10 \times 10 = 100$$

$$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

$$10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\ 000$$

$$10^5 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100\ 000$$

قوةُ الرقمِ عشَرَة، أو أُسُّ الرقمِ عشرة، تحدِّدُ عددَ الأصفارِ، فنكتبُ سرعةَ الضوءِ التي تبلغُ 300 000 000 m/s على شكلِ $3 \times 10^8$ m/s. ويكونُ في هذه الحالةِ أسُّ العشرةِ الرقمَ 8.

### قوى العشَرةِ السالبةِ

للأرقامِ التي تقِلُّ عن 1، نلاحظُ ما يلي:

$$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$10^{-2} = \frac{1}{10 \times 10} = 0.01$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10} = 0.001$$

$$10^{-4} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.0001$$

$$10^{-5} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.000\ 01$$

تساوي قيمةُ القوةِ السالبةِ عددَ الخاناتِ التي يجبُ أن تقطعَها الفاصلةُ يمينًا لتصبحَ إلى يمينِ خانةِ الرقمِ الأولِ غيرِ الصفرِ (الخانةُ في هذه الحالةِ هي 1). والطريقةُ التي تُكتبُ بها الأعدادُ هي، من 1 إلى أقلَّ من عشرةٍ، على شكلِ رقمٍ مضروبٍ بقوةِ العشرةِ الموجبةِ أو السالبةِ، تُسمَّى الترميزَ العلميَّ. نكتبُ مثلاً العدد 5 943 000 000 على الشكل $5.943 \times 10^9$، وبطريقةِ الترميزِ العلميِّ، كذلك نكتبُ 0.000 083 2 على الشكلِ $8.32 \times 10^{-5}$.

### الضربُ والقسمةُ باستعمالِ الترميزِ العلميِّ

عند ضربِ الأرقامِ المكتوبةِ بطريقةِ الترميزِ العلميِّ يمكنُ استعمالُ القاعدةِ التاليةِ:

$$10^n \times 10^m = 10^{(m+n)}$$

يمكنُ لـ $n$ و $m$ أن يكونَ كلٌّ منهما أيَّ عددٍ، وليس بالضرورةِ عددًا صحيحًا. مثلاً، $10^2 \times 10^5 = 10^7$ بينما $10^{1/4} \times 10^{1/2} = 10^{3/4}$. تُطبَّقُ هذه القاعدةُ أيضًا على القوى السالبةِ، فمثلاً: $10^3 \times 10^{-8} = 10^{-5}$. وعند قسمةِ الأعدادِ المكتوبةِ بالترميزِ العلميِّ، نلاحظُ ما يلي:

$$\frac{10^n}{10^m} = 10^n \times 10^{-m} = 10^{(n-m)}$$

فمثلاً، $\frac{10^3}{10^2} = 10^{(3-2)} = 10^1$

## الكسور

يلخِّصُ **الجدولُ 1**(أ) قواعدَ عمليّاتِ ضربِ الكسورِ وقسمتِها وجمعِها وطرحِها، حيث $a$ و$b$ و$c$ و$d$ هي أربعةُ أرقامٍ.

**الجدول 1**(أ) العملياتُ الأساسيَّةُ للكسورِ

| العملية | القاعدة | المثال |
|---|---|---|
| الضرب | $\left(\frac{a}{b}\right)\left(\frac{c}{d}\right) = \frac{ac}{bd}$ | $\left(\frac{2}{3}\right)\left(\frac{4}{5}\right) = \frac{(2)(4)}{(3)(5)} = \frac{8}{15}$ |
| القسمة | $\frac{\left(\frac{a}{b}\right)}{\left(\frac{c}{d}\right)} = \frac{ad}{bc}$ | $\frac{\left(\frac{2}{3}\right)}{\left(\frac{4}{5}\right)} = \frac{(2)(5)}{(3)(4)} = \frac{5}{6}$ |
| الجمعُ والطرحُ | $\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$ | $\frac{2}{3} - \frac{4}{5} = \frac{(2)(5) - (3)(4)}{(3)(5)} = -\frac{2}{15}$ |

## القوى

### قواعدُ الأُسِّ

عند ضربِ كمّيَّةٍ معيَّنةٍ ($x$) قوتُها ($m$) في الكمّيَّةِ نفسِها وقوتُها ($n$)، نطبِّقُ قاعدةَ الترميزِ العلميِّ كما يلي:

$$(x^n)(x^m) = x^{(n+m)}$$

مثلاً، $(x^2)(x^4) = x^{(2+4)} = x^6$

عند قسمةِ قوًى مختلفةٍ للكمّيَّةِ نفسِها نلاحظُ:

$$\frac{x^n}{x^m} = x^{(n-m)}$$

مثلاً، $\frac{x^8}{x^2} = x^{(8-2)} = x^6$

القوةُ التي على شكلِ كسرٍ مثل $\frac{1}{3}$ ، تصبحُ جذرًا كما يلي:

$$x^{1/n} = \sqrt[n]{x}$$

مثلاً، $4^{1/3} = \sqrt[3]{4} = 1.5874$ (يمكنُ الاستفادةُ من الآلةِ الحاسبةِ لهذه الحساباتِ.)
أخيرًا، عند رفعِ كمّيَّةِ $x^n$ إلى القوةِ $m$ تصبحُ كما يلي:

$$(x^n)^m = x^{nm}$$

مثلاً، $(x^2)^3 = x^{(2)(3)} = x^6$
يلخِّصُ **الجدولُ 2** (أ) القواعدَ الأساسيَّةَ للأُسِّ.

**الجدول 2**(أ) القواعدُ الأساسيَّةُ للأُسِّ

| | | |
|---|---|---|
| $x^0 = 1$ | $x^1 = x$ | $(x^n)(x^m) = x^{(n+m)}$ |
| $\frac{x^n}{x^m} = x^{(n-m)}$ | $x^{1/n} = \sqrt[n]{x}$ | $(x^n)^m = x^{(nm)}$ |

# الجبر

## حسابُ المجهول

عند قيامِنا بعمليّاتٍ جبريَّةٍ، نطبِّقُ قوانينَ الحسابِ. تمثِّلُ الرموزُ، مثلُ $x$، $y$، $z$، عادةً كمّيَّاتٍ غيرَ محدَّدةٍ «المجهولاتِ».
لنأخذْ أولاً المعادلةَ:

$$8x = 32$$

إذا أردْنا حسابَ $x$، نقسِمُ جانبَيِ المعادلةِ على المعاملِ نفسِهِ دون تغييرٍ في المعادلةِ. في هذه الحالةِ إذا قسمْنا الجانبَيْنِ على 8 نحصلُ على:

$$\frac{8x}{8} = \frac{32}{8}$$

$$x = 4$$

لنأخذْ بعدَها المعادلةَ التاليةَ:

$$x + 2 = 8$$

في هذا النوعِ من المعادلاتِ، نجمعُ أو نطرحُ كمّيَّةً واحدةً من كلِّ طرفٍ. إذا طرحْنا 2 من كلِّ طرفٍ نحصلُ على التالي:

$$x + 2 - 2 = 8 - 2$$

$$x = 6$$

وبشكلٍ عامٍّ $x + a = b$ تُحوَّلُ إلى $x = b - a$

لنأخذِ الآنَ المعادلةَ التاليةَ:

$$\frac{x}{5} = 9$$

إذا ضربْنا كلَّ طرفٍ في 5، تبقى $x$ وحدَها في الجهةِ اليسرى والقيمةُ 45 في الجهةِ اليمنى.

$$(5)\left(\frac{x}{5}\right) = (9)(5)$$

$$x = 45$$

في جميعِ الحالاتِ، ما يطبَّقُ من عملياتٍ على الجهةِ اليسرى يجبُ أن يطبَّقَ على الجهةِ اليمنى.

## التحليلُ إلى عواملَ

يبيِّنُ **الجدولُ 3** (أ) بعضَ المعادلاتِ المفيدةِ لتحليلِ المعادلةِ إلى عواملَ.

يمكنُ مثلاً كتابةُ المعادلةِ $5x + 5y + 5z = 0$ على الشكلِ $5(x + y + z) = 0$، حيثُ يسمَّى الرقمُ 5 عاملاً مشترَكًا.

أما التعبيرُ $a^2 + 2ab + b^2$، الذي يُعدُّ مثالاً على مربَّعٍ كاملٍ، فيمكنُ أن يُكتبَ: $(a + b)^2$.

إذا كانَتْ $a = 2$ و $b = 3$، عندَها تصبحُ المعادلةُ: $2^2 + (2)(2)(3) + 3^2 = (2 + 3)^2$،

أو $25 = (4 + 12 + 9)$، وأخيرًا $5^2 = 25$.

وكمثالٍ على الفرقِ بين عددَيْنِ مربَّعَيْنِ نأخذُ $a = 6$ و $b = 3$.

في هذه الحالةِ $(6^2 - 3^2) = (6 + 3)(6 - 3)$ أو $(36 - 9) = (9)(3) = 27$.

**الجدول 3**(أ) معادلاتُ التحليلِ إلى عواملَ

| | |
|---|---|
| عاملٌ مشتركٌ | $ax + ay + az = a(x + y + z)$ |
| مربَّعٌ كاملٌ | $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ |
| الفرقُ بين عددَيْنِ مربَّعَيْنِ | $a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$ |

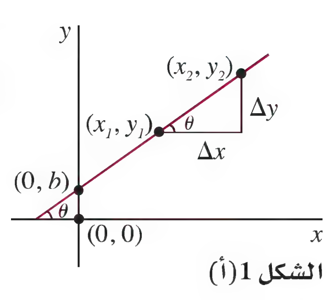
## المعادلاتُ الخطِّيَّةُ

للمعادلةِ الخطِّيَّةِ الشكلُ العامُّ التالي:

$$y = ax + b$$

حيث $a$ و$b$ ثابتان. تُسمَّى هذه المعادلةُ معادلةً خطِّيَّةً، لأن منحنى $y$ بالنسبةِ لـ $x$ هو خطٌّ مستقيمٌ، كما يظهرُ في **الشكل 1** (أ). يسمَّى الثابتُ $b$ التقاطعَ مع المحورِ $y$. ويساوي الثابتُ $a$ ميلَ الخطِّ المستقيمِ، ويساوي أيضًا ظلَّ الزاويةِ بين هذا الخطِّ والمحورِ $x$، أي $\theta$. إذا حدَّدنا على الخطِّ، إحداثياتِ النقطتَيْنِ $(x_1, y_1)$ و$(x_2, y_2)$، كما في **الشكل 1** (أ)، يكونُ ميلُ الخطِّ المستقيمِ:

$$\text{الميل} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

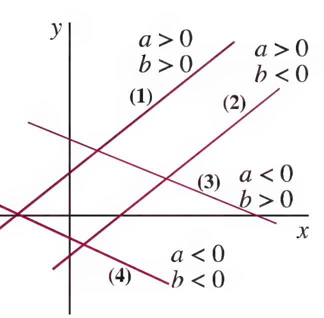


**الشكل 1**(أ)

لنأخذْ مثلاً النقطتَيْن (2،4) و (6،9)، مع هذه القيم يكونُ ميلُ الخطِّ:

$$\text{الميل} = \frac{(9-4)}{(6-2)} = \frac{5}{4}$$

لاحظْ أنه يمكنُ لكلٍّ من $a$ و$b$ أن تكونَ موجبةً أو سالبةً. يكونُ ميلُ الخطِّ المستقيمِ موجبًا إذا كانَتْ $a > 0$، وسالبًا إذا كانَتْ $a < 0$. بالإضافةِ إلى ذلك يكونُ التقاطعُ مع محورِ $y$ موجبًا إذا كانَتْ $b > 0$، وسالبًا إذا كانَتْ $b < 0$. يبيِّنُ **الشكلُ 2** (أ) أمثلةً على الحالاتِ الأربعِ السابقةِ، التي لخَّصَها **الجدولُ 4** (أ).




**الشكل 2** (أ)

**الجدول 4** (أ) المعادلاتُ الخطّيَّةُ

| الثوابت | الميل | التقاطعُ مع y |
|---|---|---|
| $a > 0, b > 0$ | موجب | موجب |
| $a > 0, b < 0$ | موجب | سالب |
| $a < 0, b > 0$ | سالب | موجب |
| $a < 0, b < 0$ | سالب | سالب |

## التحويلُ بين الكسورِ والأعدادِ العُشريَّةِ والنسبِ المئويَّةِ

يلخِّصُ **الجدولُ 5** (أ) قواعدَ تحويلِ الأعدادِ من كسورٍ إلى أعدادٍ عُشريَّةٍ ونسبٍ مئويَّةٍ، ومن نسبٍ مئويَّةٍ إلى أعدادٍ عُشريَّةٍ.

**الجدول 5** (أ) التحويلات

| التحويل | القاعدة | المثل |
|---|---|---|
| من كسرٍ إلى عددٍ عُشريٍّ | اقسِمِ الصورةَ على المخرجِ | $\frac{31}{45} = 0.69$ |
| من كسرٍ إلى نسبةٍ مئويَّةٍ | حوِّلْ إلى عددٍ عشريٍّ ثم اضربْ في 100% | $\frac{31}{45} = (0.69)(100\%) = 69\%$ |
| من نسبةٍ مئويَّةٍ إلى عددٍ عُشريٍّ | حرِّكِ الفاصلةَ خانتَيْنِ إلى اليسارِ، وتخلَّصْ من إشارةِ النسبةِ المئويَّةِ | $69\% = 0.69$ |

**الجدول 6 (أ)** يعطي معادلاتِ المساحةِ والحجمِ لأشكالٍ هندسيَّةٍ متنوِّعةٍ تردُ في هذا الكتابِ.

**الجدول 6 (أ)** المساحاتُ والحجومُ الهندسيَّةُ

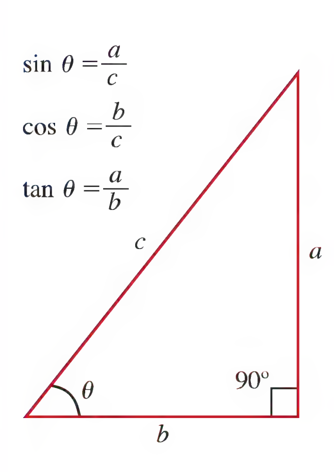
| أشكالٌ هندسية | | معادلات |
|---|---|---|
| ($l$، $w$) | المستطيل | المساحة = $lw$<br>المحيط = $2\,(l+w)$ |
| ($r$) | الدائرة | المساحة = $\pi r^2$<br>المحيط = $2\pi r$ |
| ($h$، $b$) | المثلث | المساحة = $\frac{1}{2}bh$ |
| ($r$) | الكرة | مساحةُ السطحِ = $4\,\pi r^2$<br>الحجم = $\frac{4}{3}\pi r^3$ |
| ($l$، $r$) | الأسطوانة | الحجم = $\pi r^2 l$<br>المساحةُ الجانبيَّةُ = $2\pi rl$ |
| ($w$، $l$، $h$) | الصندوقُ المستطيلُ | مساحةُ السطحِ = $2(lh + lw + hw)$<br>الحجم = $lwh$ |

# علمُ المثلَّثاتِ ونظريةُ فيثاغورس

علمُ المثلَّثاتِ هو فرعُ الرياضيّاتِ الذي يتعلّقُ بخصائصِ المثلَّثِ قائمِ الزاويةِ. وتعدُّ معظمُ مفاهيمِ هذا الفرعِ ذاتَ أهمّيّةٍ قصوى في دراسةِ الفيزياءِ. لمراجعةِ بعضِ المفاهيمِ الأساسيَّةِ في علمِ المثلَّثاتِ، نأخذُ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ، كالذي في **الشكل 3** (أ)، حيثُ الضلعُ $a$ مقابلٌ للزاويةِ $\theta$، والضلعُ $b$ مجاورٌ لها، والضلعُ $c$ وترُ المثلَّثِ. يلخّصُ **الجدولُ 7** (أ)، بالاستنادِ إلى **الشكل 3** (أ)، معظمَ الدوالِّ المثلَّثيَّةِ الأساسيَّةِ.

**الجدولُ 7** (أ) الدوالُّ المثلَّثيَّةُ

| | |
|---|---|
| الجيب (sin) | $\sin\theta = \dfrac{a}{c} = \dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}$ |
| جيبُ التمامِ (cos) | $\cos\theta = \dfrac{b}{c} = \dfrac{\text{الضلعُ المجاورُ لـ } \theta}{\text{الوتر}}$ |
| الظلّ (tan) | $\tan\theta = \dfrac{a}{b} = \dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلع المجاورُ لـ } \theta}$ |
| الجيبُ العكسيُّ ($\sin^{-1}$) | $\sin^{-1}\left(\dfrac{a}{c}\right) = \sin^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}\right) = \theta$ |
| جيبُ التمامِ العكسيُّ ($\cos^{-1}$) | $\cos^{-1}\left(\dfrac{b}{c}\right) = \cos^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعَ المجاورَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}\right) = \theta$ |
| الظلُّ العكسيُّ ($\tan^{-1}$) | $\tan^{-1}\left(\dfrac{a}{b}\right) = \tan^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلع المجاورِ لـ } \theta}\right) = \theta$ |




**الشكل 3** (أ)

فمثلاً، إذا كانَ قياسُ الزاويةِ $\theta = 30°$، تكونُ نسبةُ $a$ إلى $c$ دائمًا 0.50، ومعنى ذلك أن $\sin 30° = 0.50$. وليس لدوالِّ الجيبِ وجيبِ التمامِ والظلِّ أيُّ وحداتِ قياسٍ، لأنها تمثِّلُ نسبةَ طولَيْنِ. لاحظْ أيضًا العلاقةَ التالية:

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}}{\dfrac{\text{الضلع المجاورِ لـ } \theta}{\text{الوتر}}} = \frac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلعِ المجاورِ لـ } \theta} = \tan\theta$$

بعضُ العلاقاتِ المثلَّثيَّةِ الإضافيَّةِ هي التاليةُ:

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

$$\sin\theta = \cos(90° - \theta)$$

$$\cos\theta = \sin(90° - \theta)$$

### حسابُ ضلعٍ مجهولٍ

يمكنُ استعمالُ الدوالِّ الثلاثِ الأولى الواردةِ في **الجدول 7** (أ) لحسابِ ضلعٍ مجهولٍ في مثلَّثٍ قائمِ الزوايةِ لدى معرفتِنا طولَ أحدِ الأضلاعِ و قياسِ إحدى الزاويتيْن (غيرِ القائمةِ). فمثلاً إذا كانَت $\theta = 30°$ و $a = 1.0\ m$، نحسُبُ الضلعَيْنِ الآخرَيْنِ للمثلَّثِ على الشكلِ التالي:

$$\sin\ \theta = \frac{a}{c}$$

$$c = \frac{a}{\sin\theta} = \frac{1.0\ m}{\sin 30°}$$

$$\boxed{c = 2.0\ m}$$

$$\tan\ \theta = \frac{a}{b}$$

$$b = \frac{a}{\tan\theta} = \frac{1.0m}{\tan 30°}$$

$$\boxed{b = 1.7\ m}$$

### حسابُ زاويةٍ مجهولةٍ

قد يتوفَّرُ لنا في بعضِ الحالاتِ معرفةُ الجيبِ أو جيبِ التمامِ أو ظلِّ زاويةٍ، ونحتاجُ أن نحدِّدَ قيمةَ الزاويةِ نفسِها هنا. يمكنُ، لهذا الغرضِ، استعمالُ دوالِّ الجيبِ العكسيِّ، وجيبِ التمامِ العكسيِّ، والظلِّ العكسيِّ، الواردةِ في **الجدولِ 7** (أ).

فمثلاً في **الشكل 3** (أ)، إذا كانَ $a = 1.0\ m$ و $c = 2.0\ m$ نحسُبُ الزاويةَ $\theta$ باستعمالِ دالَّةِ الجيبِ العكسيِّ $\sin^{-1}$ كما يلي:

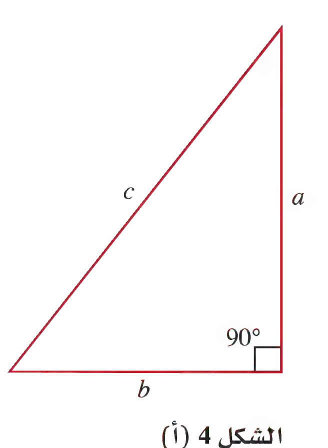
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{a}{c}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.0\ m}{2.0\ m}\right) = \sin^{-1}(0.50)$$

$$\boxed{\theta = 30°}$$

### نظريةُ فيثاغورس

هي نظريَّةٌ مفيدةٌ في مثلَّثٍ قائمِ الزاويةِ. إذا كانَ $a$ و $b$ ضلعَيْ مثلَّثٍ قائمِ الزاويةِ و $c$ وترَه كما في **الشكل 4** (أ)، تُكتبُ نظريَّةُ فيثاغورس على الشكلِ التالي:

$$c^2 = a^2 + b^2$$



**الشكل 4** (أ)

هذا يعني أن مربَّعَ الوترِ يساوي حاصلَ جمعِ مربَّعَيِ الضلعَيْنِ الباقيَيْن. تُستعملُ نظريَّةُ فيثاغورس لحسابِ ضلعٍ من أضلاعِ المثلَّثِ عند معرفةِ الضلعَيْنِ الباقيَيْن. مثلاً إذا كانَ: $c = 2.0\ m$ و $a = 1.0\ m$، يمكنُكَ حسابُ $b$ باستعمالِ نظريَّةِ فيثاغورس:

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(2.0\ m)^2 - (1.0\ m)^2}$$

$$b = \sqrt{4.0\ m^2 - 1.0\ m^2} = \sqrt{3.0\ m^2}$$

$$\boxed{b = 1.7\ m}$$

# الدقةُ في الحساباتِ المختبريَّة

## الخطأُ المطلَقُ

بعضُ التجاربِ الواردةِ في هذا الكتابِ، تتضمَّنُ طريقةً لحسابِ قيمةٍ معروفةٍ مسبقًا، كتعجيل السقوطِ الحرِّ. في هذا النوعِ من التجاربِ تتحدَّدُ دقَّةُ قياساتِك من خلالِ المقارنةِ بين نتائجِكَ والقيمةِ المقبولةِ. ويعرَّفُ الخطأُ المطلقُ بالقيمةِ المطلقةِ للفرقِ بين النتيجةِ المختبريَّةِ والنتيجةِ المقبولةِ.

$$\text{الخطأُ المطلقُ} = \left| \text{القيمةَ المختبريَّةَ} - \text{القيمةِ المقبولةِ} \right|$$

تأكَّدْ من عدمِ الخلطِ بين مفهومَيِ الدقَّةِ والضبطِ. تُعرَّفُ دقَّةُ القياسِ بمدى قربِ القياسِ من القيمةِ المقبولةِ للكمّيَّةِ المقيسةِ. أما الضبطُ فيعتمدُ على أدواتِ القياسِ. ويكونُ للمسطرةِ المتريَّةِ المدرَّجةِ بالملّيمتراتِ، مثلاً، ضبطٌ أكثرُ من مسطرةٍ متريَّةٍ مدرَّجةٍ بالسنتيمتراتِ.
إذن فالقيمةُ $9.61\ m/s^2$ المقيسةُ لتعجيلِ السقوطِ الحرِّ هي أكثرُ ضبطًا من القيمةِ $9.8\ m/s^2$، علمًا أن القيمة $9.8\ m/s^2$ هي أكثرُ دقَّةً من $9.61\ m/s^2$.

## الخطأُ النسبيُّ

لاحظْ أن القياسَ الذي له، نسبيًّا، خطأٌ مطلقٌ كبيرٌ قد يكونُ أدقَّ من قياسٍ آخرَ خطؤُهُ المطلقُ أقلُّ، إذا تضمَّنَ القياسُ الأولُ كمِّيّاتٍ كبيرةً جدًّا. لهذا السببِ يكونُ للخطأِ النسبيِّ أو الخطأِ المئويِّ أهمّيَّةٌ أكبرُ من الخطأِ المطلقِ. ويعرَّفُ الخطأُ النسبيُّ كما يلي:

$$\text{الخطأُ النسبيُّ} = \frac{\left| \text{القيمةَ المختبريَّةَ} - \text{القيمةِ المقبولةِ} \right|}{\text{القيمةِ المقبولةِ}}$$

ولأن الخطأَ النسبيَّ يراعي مقدارَ الكمِّيّةِ المقيسةِ، يمكنُ مقارنةُ دقَّةِ قياسَيْنِ مختلفَيْنِ من خلالِ المقارنةِ بين خطئَيْهما النسبيَّيْنِ.

# الملحق (ب): الرموز

## الرموزُ الرياضيَّةُ

| الرمز | الدلالة | الرمز | الدلالة |
|---|---|---|---|
| $\Delta$ | (دلتا باليونانيَّةِ) تغيُّرُ كميّةٍ ما | $\leq$ | أصغرُ من أو يساوي (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين) |
| $\Sigma$ | (سيغما باليونانيَّةِ) جمعُ كمّيّاتٍ | $\propto$ | تناسبيّ |
| $\theta$ | (ثيتا باليونانيَّةِ) زاويةٌ ما | $\approx$ | تقريبًا يساوي |
| $=$ | يساوي | $\lvert n \rvert$ | مقدارُ القيمةِ المطلقةِ |
| $>$ | أكبرُ من (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين) | sin | جيب |
| $\geq$ | أكبرُ من أو يساوي (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين) | cos | جيبُ التمامِ |
| $<$ | أصغرُ من (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين) | tan | ظلّ |

## رموزُ الكمّيّاتِ المستعملةُ

يُرمزُ إلى الكميّةِ المتّجهةِ ذاتِ المقدارِ والاتّجاهِ بحرفٍ يعلوهُ سهمٌ، أما الأحرفُ المائلةُ *italic* فترمزُ إلى كمّيّاتٍ قياسيَّةٍ ذاتِ مقدارٍ فقط.

| الرمز | الدلالة | الرمز | الدلالة |
|---|---|---|---|
| $A$ | مساحة | $M$ | كتلةٌ كلّيّةٌ |
| $D$ | قُطرُ الدائرةِ | $R$ | نصفُ القطرِ |
| $\vec{F}$ | قوة | $t$ | زمن |
| $F$ | مقدارُ القوةِ | $V$ | حجم |
| $m$ | كتلة | | |

# رموزُ الاهتزازاتِ والموجاتِ والبصريّاتِ المستعملةُ في هذا الكتابِ

الرموزُ التي يعلوها سهمٌ تمثّلُ الكمّيّاتِ المتّجهة ذاتَ المقدارِ والاتّجاهِ.
أما الرموزُ المائلةُ فتمثّلُ الكمّيّاتِ ذاتَ المقدارِ فقط، أو مقدارَ كمّيّاتٍ متّجهةٍ. باقي الرموزِ تمثّلُ، عادةً، الوحداتِ.

| | الكمّيّة | الرمز |
|---|---|---|
| center of curvature for spherical mirror | مركزُ انحناءِ مرآةٍ كرويّةٍ | $C$ |
| spring force | قوةُ الزنبركِ | $\vec{F}_{\text{المرنة}}$ , $F_{\text{المرنة}}$ |
| focal point | نقطةُ البؤرةِ | $F$ |
| frequency | التردُّد | $f$ |
| *n*th harmonic frequency | التردُّد التوافقيُّ ذو الرتبةِ $n$ | $f_n$ |
| object height | طولُ الجسمِ | $h$ |
| image height | طولُ الصورةِ | $h'$ |
| spring constant | ثابتُ الزنبركِ | $k$ |
| length of a pendulum, vibrating string, or vibrating column of air | طولُ بندولٍ أو خيطٍ مهتزٍّ أو عمودٍ هوائيٍّ مهتزٍّ | $L$ |
| path length of light wave | طولُ مسارِ موجةٍ ضوئيّةٍ | $\ell$ |
| (Greek lambda) wavelength | (لمدا اليونانيّةُ) الطولُ الموجيُّ | $\lambda$ |
| magnification of image | تكبيرُ الصورةِ | $M$ |
| harmonic number (sound) | عددٌ توافقيٌّ (الصوت) | $n$ |
| index of refraction | مُعاملُ الانكسارِ | $n$ |
| object distance | بُعدُ الجسمِ عن الجهازِ البصريِّ | $p$ |
| image distance | بُعدُ الصورةِ عن الجهازِ البصريِّ | $q$ |
| period of a pendulum (simple harmonic motion) | الزمنُ الدوريُّ للبندولِ (الحركةُ التوافقيّةُ البسيطةُ) | $T$ |
| (Greek theta) angle of incidence of a beam of light (reflection) | (ثيتا اليونانيّةُ) زاويةُ سقوطِ حزمةٍ ضوئيّةٍ (في حالةِ الانعكاس) | $\theta$ |
| (Greek theta) angle of reflection | (ثيتا اليونانيّةُ) زاويةُ الانعكاس | $\theta'$ |
| (Greek theta) critical angle of refraction | (ثيتا اليونانيّةُ) الزاويةُ الحرجةُ للانكسارِ | $\theta_c$ |
| (Greek theta) angle of incidence of a beam of light (refraction) | (ثيتا اليونانيّةُ) زاويةُ سقوطِ حزمةٍ ضوئيّةٍ (في حالةِ الانكسارِ) | $\theta_i$ |
| (Greek theta) angle of refraction | (ثيتا اليونانيّةُ) زاويةُ الانكسارِ | $\theta_r$ |

# رموزُ الميكانيكا الانتقاليةِ المستعملةُ في هذا الكتاب

الرموزُ التي يعلوها سهمٌ تمثلُ الكمياتِ المتجهةَ ذاتَ المقدارِ والاتجاه. أما الرموزُ المائلةُ فتمثلُ الكمياتِ ذاتَ المقدارِ فقط، أو مقدارَ كمياتٍ متجهة. وباقي الرموزِ تمثِّلُ، عادةً، الوحدات.

| الرمز | الكمية | |
|---|---|---|
| $\vec{a}, a$ | التعجيل | acceleration |
| $\vec{\mathrm{d}}, d$ | الإزاحة | displacement |
| $\vec{\mathrm{F}}\Delta t$ | الدفع | impulse |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{g}}, F_g$ | قوةُ الجاذبية (الوزن) | gravitational force (weight) |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{k}}, F_k$ | قوةُ الاحتكاكِ الحركيّ | force of kinetic friction |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{n}}, F_n$ | القوةُ المتعامدة | normal force |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\text{المحصلة}}, F_{\text{المحصلة}}$ | القوةُ المحصَّلة | net force |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{R}}, F_R$ | قوةُ مقاومةِ الهواء | force of air resistance |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{s}}, F_s$ | قوةُ الاحتكاكِ السكونيّ | force of static friction |
| $\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{s,max}}, F_{s,max}$ | قوةُ الاحتكاكِ السكونيّ الأقصى | maximum force of static friction |
| $h$ | الارتفاع | height |
| $k$ | ثابتُ الزنبرك | spring constant |
| $KE$ | طاقةُ الحركة | kinetic energy |
| $KE_{\text{انتقالية}}$ | طاقةُ الحركةِ الانتقالية | translational kinetic energy |
| $MA$ | الفائدةُ الآلية | mechanical advantage |
| $ME$ | الطاقةُ الميكانيكية | mechanical energy (sum of all kinetic and potential energies) |
| $\mu_k$ | معاملُ الاحتكاكِ الحركيّ | (Greek *mu*) coefficient of kinetic friction |
| $\mu_s$ | معاملُ الاحتكاكِ السكونيّ | (Greek *mu*) coefficient of static friction |
| $P$ | القدرة | power |
| $\mathbf{p}, p$ | كميةُ الحركة | momentum |
| $PE$ | الطاقةُ الكامنة | potential energy |
| $PE_e$ | الطاقةُ الكامنةُ المرونية | elastic potential energy |
| $PE_g$ | الطاقةُ الكامنةُ الجذبية | gravitational potential energy |
| $r$ | المسافةُ الفاصلةُ بين كتلتين | separation between point masses |
| $\mathrm{v}, v$ | السرعة | velocity or speed |
| $W$ | الشغل | work |
| $W_{\text{احتكاك}}$ | الشغلُ الناتجُ من قوةِ احتكاك | work done by a frictional force (or work required to overcome a frictional force) |
| $W_{\text{المحصلة}}$ | محصِّلةُ الشغل | net work done |
| $\vec{\Delta \mathrm{x}}, \Delta x$ | الإزاحةُ في اتجاهِ $x$ | displacement in the $x$ direction |
| $\vec{\Delta \mathrm{y}}, \Delta y$ | الإزاحةُ في اتجاهِ $y$ | displacement in the $y$ direction |

# رموزُ ديناميكا الموائعِ والديناميكا الحراريةِ المستعملةُ في هذا الكتاب

تمثلُ الرموزُ التي تعلوها أسهمٌ الكمياتِ المتجهةَ ذاتَ المقدارِ والاتجاه. أما الرموزُ المائلةُ فتمثلُ الكمياتِ ذاتَ المقدارِ فقط، أو مقدارَ كمياتٍ متجهة. وباقي الرموزِ تمثِّلُ، عادةً، الوحدات.

| الرمز | الكمية | |
|---|---|---|
| $C_p$ | السَّعة الحراريةُ النوعية | specific heat capacity |
| $\vec{F}_B$ , $F_B$ | قوةُ الطَّفْو | buoyont force |
| $L$ | الحرارةُ الكامنة | latent heat |
| $L_f$ | الحرارةُ الكامنةُ للانصهار | latent heat of fusion |
| $L_v$ | الحرارةُ الكامنةُ للغليان | latent heat of vaporization |
| $N$ | عددُ جزيئاتِ الغاز | number of gas particles |
| $P$ | الضغط | pressure |
| $P_0$ | الضغطُ الابتدائي، الضغطُ الجوي | initial pressure, atmospheric pressure |
| $P_{\text{المحصلة}}$ | محصلةُ الضغط | net pressure |
| $\rho$ | (حرفُ رو اليوناني) كثافةُ الكتلة | mass density |
| $Q$ | الحرارة | heat |
| $Q_c$ | الطاقةُ المتبادلةُ كحرارةٍ من مادة عند درجةِ حرارةٍ منخفضة أو إليها | energy transfered as heat to or from a low temperature (cold) substance |
| $Q_h$ | الطاقةُ المتبادلةُ كحرارةٍ من مادةٍ على درجةِ حرارةٍ مرتفعة أو إليها | energy transfered as heat to or from a high temperature (hot) substance |
| $Q_{\text{المحصلة}}$ | محصّلةُ الطاقةِ المتبادلة كحرارةٍ مع نظامٍ ما | net amount of energy transfered as heat to or from a system |
| $T$ | درجةُ الحرارة (المطلقة) | temperature (absolute) |
| $T_C$ | درجةُ الحرارةِ وفقَ المقياسِ المئوي أو السيليزي | temperature in degree celsius |
| $T_c$ | درجةُ حرارةِ جسمٍ بارد | temperature of a low-temperature (cool) substance |
| $T_f$ | درجةُ الحرارةِ وفقَ مقياسِ فهرنهيت | temperature in degree Fahrenheit |
| $T_h$ | درجةُ حرارةِ جسمٍ حار | temperature of a high-temperature ( hot) substance |
| $U$ | الطاقةُ الداخلية | internal energy |

# الملحق (ج)

## الوحداتُ في النظامِ الدوليِّ SI

| الرمز | الدلالة | الكمّيَّة | الرمز | الدلالة | الكمّيَّة |
|---|---|---|---|---|---|
| A | أمبير | تيّارٌ كهربائيٌّ | s | ثانية | زمن |
| K | كالفن | درجةُ الحرارةِ المطلقةُ | mol | المول | كمّيَّةُ المادَّةِ |
| kg | كيلوغرام | كتلة | cd | الكانديلا | شدةُ الإضاءةِ |
| m | متر | طول | | | |

## بعضُ بادئاتِ النظامِ الدوليِّ SI

| البادئة | الرمز | العاملُ الأسيُّ | القيمة | مثال (بوحدة القيَّاس المتر) |
|---|---|---|---|---|
| **Mega ميغا** | **M** | **$10^{6}$** | **1 000 000** | ميغامترٌ واحدٌ (Mm) = $1 \times 10^{6}$ متر |
| **Kilo كيلو** | **k** | **$10^{3}$** | **1 000** | كيلومترٌ واحدٌ (km) = $1 \times 10^{3}$ متر |
| **Centi سنتي** | **c** | **$10^{-2}$** | **1/100** | سنتيمترٌ واحدٌ (cm) = $1 \times 10^{-2}$ متر |
| **Milli ملّي** | **m** | **$10^{-3}$** | **1/1000** | مليمترٌ واحدٌ (mm) = $1 \times 10^{-3}$ متر |
| **Micro ميكرو** | **$\mu$** | **$10^{-6}$** | **1/1 000 000** | ميكرومترٌ واحدٌ ($\mu$m) = $1 \times 10^{-6}$ متر |

## وحداتٌ أُخرى مقبولةٌ مع نظامِ SI

| الرمز | الاسم | الكمِّيَّة | وحدةٌ مكافئةٌ |
|---|---|---|---|
| Bq | باكوريل | وتيرةُ الانحلالِ أو النشاطِ | $\frac{1}{s}$ |
| C | كولومب | شحنةٌ كهربائيَّة | $1\ A\bullet s$ |
| °C | درجةُ سلزيوس | درجةُ الحرارةِ | $1\ K$ |
| dB | ديسيبل | مستوى شدَّةِ الصوتِ | (من دون وحدةِ قياس) |
| eV | إلكترونٌ فولت | طاقة | $1.60 \times 10^{-19}\ J$ |
| F | فاراد | سعة | $1\frac{A^2\bullet s^4}{kg\bullet m^2} = 1\frac{C}{V}$ |
| H | هنري | الحث | $1\frac{kg\bullet m^2}{A^2\bullet s^2} = 1\frac{J}{A^2}$ |
| h | ساعة | زمن | $3.600 \times 10^3\ s$ |
| Hz | هيرتز | تردُّد | $\frac{1}{s}$ |
| J | جول | طاقة | $1\frac{kg\bullet m^2}{s^2} = 1\ N\bullet m$ |
| kW•h | كيلوواط-ساعة | طاقة | $3.60 \times 10^6\ J$ |
| L | لتر | حجم | $10^{-3}\ m^3$ |
| min | دقيقة | زمن | $6.0 \times 10^1\ s$ |
| N | نيوتن | قوة | $1\frac{kg\bullet m}{s^2}$ |
| Pa | باسكال | ضغط | $1\frac{kg}{m\bullet s^2} = 1\frac{N}{m^2}$ |
| rad | راديَن | إزاحةٌ زاويَّةٌ | (من دون وحدةِ قياس) |
| T | تسلا | شدَّةُ مجالٍ مغنطيسيٍّ | $1\frac{kg}{A\bullet s^2} = 1\frac{N}{A\bullet m} = 1\frac{V\bullet s}{m^2}$ |
| u | وحدةُ كتلةٍ موحَّدة | كتلة (كتلةٌ ذريَّةٌ) | $1.660\ 538\ 86 \times 10^{-27}\ kg$ |
| V | فولت | فرقُ جهدٍ كهربائيٍّ | $1\frac{kg\bullet m^2}{A\bullet s^3} = 1\frac{J}{C}$ |
| W | واط | قدرة | $1\frac{kg\bullet m^2}{s^3} = 1\frac{J}{s}$ |
| Ω | أوم | مقاومة | $1\frac{kg\bullet m^2}{A^2\bullet s^3} = 1\frac{V}{A}$ |

# الملحق (د): جداولُ مفيدة

## مُعاملُ انكسارِ بعضِ الموادِّ *

| موادُّ صلبةٌ عند 20°C | n | موادُّ سائلةٌ عند 20°C | n | غازاتٌ عند 0°C و 1 atm | n |
|---|---|---|---|---|---|
| زكرونيومٌ مكعَّبٌ | 2.20 | بنزين | 1.501 | هواء | 1.000293 |
| ماس | 2.419 | ثنائيُّ سلفايدِ الكربون | 1.628 | ثنائي أكسيد الكربون | 1.000450 |
| فلورايت | 1.434 | ثلاثيُّ كلورايدِ الكربونِ | 1.461 | | |
| كوارتزٌ منصهرٌ | 1.458 | كحولٌ إثيليٌّ | 1.361 | | |
| زجاجٌ تاجيٌّ | 1.52 | جليسيرين | 1.473 | | |
| زجاجٌ صوّانيٌّ | 1.66 | ماء | 1.333 | | |
| ثلج (عند 0°C) | 1.309 | | | | |
| بوليسترين | 1.49 | | | | |
| كلورايدُ الصوديومِ | 1.544 | | | | |
| زركون | 1.923 | | | | |

* تم قياسُ المُعاملاتِ بضوءٍ طولُه الموجيُّ في الفراغِ 589 nm.

## بياناتٌ ذريّةٌ مفيدةٌ

| الرمز | الكميّة | القيمةُ المقيسةُ (الأساسيَّةُ) | القيمةُ المعتمدةُ في حساباتِ الكتاب |
|---|---|---|---|
| $m_e$ | كتلةُ إلكترونٍ | $9.109\ 3826 \times 10^{-31}$ kg | $9.109 \times 10^{-31}$ kg |
| | | $5.485\ 799\ 0945 \times 10^{-4}$ u | $5.49 \times 10^{-4}$ u |
| | | 0.510 998 918 MeV | $5.110 \times 10^{-1}$ MeV |
| $m_n$ | كتلةُ نيوترونٍ | $1.674\ 927\ 28 \times 10^{-27}$ kg | $1.675 \times 10^{-27}$ kg |
| | | 1.008 664 915 60 u | 1.008 665 u |
| | | 939.565 360 MeV | $9.396 \times 10^{2}$ MeV |
| $m_p$ | كتلةُ بروتونٍ | $1.672\ 621\ 71 \times 10^{-27}$ kg | $1.673 \times 10^{-27}$ kg |
| | | 1.007 276 466 88 u | 1.007 276 u |
| | | 938.272 029 MeV | $9.383 \times 10^{2}$ MeV |

# كمِّياتٌ ثابتةٌ أساسيَّةٌ

| الرمز | الكمية | القيمةُ الرسميَّةُ (الأساسيَّةُ) | القيمةُ المعتمدةُ في حساباتِ الكتاب |
|---|---|---|---|
| $c$ | سرعةُ الضوءِ في الفراغِ | 299 792 458 m/s | $3.00 \times 10^{8}$ m/s |
| $e^{-}$ | الشحنةُ الابتدائيَّةُ | $1.602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$ C | $1.60 \times 10^{-19}$ C |
| $e^{1}$ | قاعدةُ اللوغارتيمِ الطبيعيِّ | 2.718 281 828 | 2.72 |
| $\varepsilon_o$ | ثابتُ العازليَّةِ في الفراغِ | $8.854\ 187\ 817 \times 10^{-12}$ $C^2/(N{\bullet}m^2)$ | $8.85 \times 10^{-12}$ $C^2/(N{\bullet}m^2)$ |
| $G$ | ثابتُ الجذبيَّةِ العالميَّةِ | $6.672\ 59 \times 10^{-11}$ $N{\bullet}m^2/kg^2$ | $6.673 \times 10^{-11}$ $N{\bullet}m^2/kg^2$ |
| $g$ | عجلةُ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ | 9.806 65 $m/s^2$ | 9.81 $m/s^2$ |
| $h$ | ثابتُ بلانك | $6.626\ 0693 \times 10^{-34}$ J•s | $6.63 \times 10^{-34}$ J•s |
| $k_B$ | ثابتُ بولتزمن $(R/N_A)$ | $1.380\ 6505 \times 10^{-23}$ J/K | $1.38 \times 10^{-23}$ J/K |
| $k_C$ | ثابتُ كولب | $8.987\ 551\ 787 \times 10^{9}$ $N{\bullet}m^2/C^2$ | $8.99 \times 10^{9}$ $N{\bullet}m^2/C^2$ |
| $R$ | الثابتُ العالميُّ الموليُّ للغازِ | 8.314 472 J/(mol•K) | 8.31 J/(mol•K) |
| $\pi$ | نسبةُ محيطِ الدائرةِ إلى قطرِها | 3.141 592 654 | القيمةُ التي تعطيها الآلةُ الحاسبةُ |

# أجوبةٌ عن مسائلَ مختارة

## الفصل 1

**تطبيق 1 (أ) ص 14**

**.1** $5 \times 10^{-5}$ m

**.3** أ. $1 \times 10^{-8}$ m ب. $1 \times 10^{-5}$ mm

ج. $1 \times 10^{-2}$ µm

**.5** $1.440 \times 10^{3}$ kg

**راجع وقيِّم ص 28-31**

**.11** أ. $2 \times 10^{2}$ mm ب. $7.8 \times 10^{3}$ s

ج. $1.6 \times 10^{7}$ µg د. $7.5 \times 10^{4}$ cm

هـ. $6.75 \times 10^{-4}$ g و. $4.62 \times 10^{-2}$ cm

ز. 9.7 m/s

**.13** $1.08 \times 10^{9}$ km

**.21** 228.8 cm

**.39** $1.79 \times 10^{-9}$ m

**.41** $1.0 \times 10^{3}$ kg

**.43** أ. $677 \times 10^{-3}$ g/cm$^{3}$ ب. $4.30 \times 10^{16}$ m$^{2}$

## الفصل 2

**تطبيق 2 (ب) ص 43**

**.1** أ. $7.85 \times 10^{-8}$ kg/m$^{2}$ ب. $3.7 \times 10^{-4}$

**.2** $\sigma = 4.07 \times 10^{6}$ N/m$^{2}$

$T = 3.19$ N

**راجع وقيِّم ص 46-47**

**.14** أ. $0.97 \times 10^{6}$ g/m$^{3}$ ب. $3.8 \times 10^{-26}$ kg

**.29** $\ell - \ell_0 = 5.8$ m

**.30** $\ell - \ell_0 = 1.45$ m

## الفصل 3

**تطبيق 3 (أ) ص 56**

**.1** أ. $3.57 \times 10^{3}$ kg/m$^{3}$ ب. $6.43 \times 10^{2}$ kg/m$^{3}$

**.3** $9.4 \times 10^{2}$ N

**تطبيق 3 (ب) ص 59**

**.1** أ. $1.48 \times 10^{3}$ N

ب. $1.88 \times 10^{5}$ Pa

**.3** أ. $1.2 \times 10^{3}$ Pa ب. $6.0 \times 10^{-2}$ N

**تطبيق 3 (ج) ص 62**

**.1** $1.11 \times 10^{8}$ Pa

**.3** 0.20 m

**تطبيق 3 (د) ص 69**

**.1** أ. 1.8 m/s ب. $1.7 \times 10^{-3}$ m

**.3** $-4.4 \times 10^{-2}$ Pa

**راجع وقيِّم ص 71-74**

**.9** $2.1 \times 10^{3}$ kg/m$^{3}$

**.17** 6.28 N

**.19** أ. $2.61 \times 10^{6}$ Pa ب. $1.48 \times 10^{5}$ N

**.23** 2.4 m/s

**.25** $3.4 \times 10^{-5}$ m$^{3}$

**.27** $5.9 \times 10^{5}$ Pa

**.29** $6.11 \times 10^{-1}$ kg

**.31** أ. $5.80 \times 10^{2}$ Pa ب. $1.02 \times 10^{5}$ N إلى أعلى

**.33** $4.0 \times 10^{2}$ m$^{2}$

**.35** $6.3 \times 10^{-2}$ m

**.37** 6.0 N

**.39** $5.0 \times 10^{-2}$ m

**.41** 833 kg/m$^{3}$

**.42** 2.2 m فوق الصبَّاب

**.44** 0.605 m

**.45** أ. 84 g/s ب. 0.028 cm/s

**.47** $9.3 \times 10^{2}$ s

**.49** $1.7 \times 10^{-3}$ m

## الفصل 4

**تطبيق 4 (أ) ص 84**

**.1** 755 J

**.3** 0.96 J

**.4** 41 m/s

**تطبيق 4 (ب) ص 88**

**.1** 47°C

**.3** 79°C

**.5** 390 J/kg•°C

**.7** 135 g

**.8** 10.1°C

**تطبيق 4 (ج) ص 95**

**.1** $1.29 \times 10^5$ J

**.3** $1.42 \times 10^4$ J

**.5** 76.2°C

**تطبيق 4 (د) ص 100**

**.1** أ. $6.4 \times 10^5$ J ب. $-4.8 \times 10^5$ J

**.3** $3.3 \times 10^2$ J

**راجع وقيِّم ص 105-108**

**.15** 1064°C، 1337 $k$

**.17** أ. 2.9 J

**.27** 25.0°C

**.29** $7.49 \times 10^4$ J

**.41** $3.5 \times 10^2$ J

**.48** $5.7 \times 10^3$ J/m

**.49** $8.0 \times 10^1$ g

## الفصل 5

**تطبيق 5 (أ) ص 114**

**.1** $1.0 \times 10^{-13}$ m

**.3** 10.1 m – 85.7 m؛ الأطوالُ الموجيَّةُ أقصرُ من تلك الخاصَّةِ بموجاتِ الراديو AM.

**.5** $5.4 \times 10^{14}$ Hz

**تطبيق 5 (ب) ص 129**

**.1** $p = 10.0$ cm؛ لا صورة ($q$ لا نهائيَّة)؛ $p = 5.00$ cm، $q = -10.0$ cm، $M = 2.00$؛ الصورةُ خياليَّةٌ ومعتدلة.

**.3** $R = 1.00 \times 10^2$ cm؛ $M = 2.00$؛ الصورةُ خياليَّة.

**تطبيق 5 (ج) ص 133**

**.1** $p = 46.0$ cm؛ $M = 0.500$، الصورةُ خياليَّةٌ ومعتدلة، $h = 3.40$ cm

**.3** $p = 45$ cm؛ $h = 17$ cm، $M = 0.41$، الصورةُ خياليَّةٌ ومعتدلة.

**.5** $q = -1.31$ cm؛ $M = 0.125$؛ الصورةُ خياليَّةٌ ومعتدلة.

**راجع وقيِّم ص 137-140**

**.7** $3.00 \times 10^8$ m/s

**.11** $1 \times 10^{-6}$ m

**.13** $9.1 \text{ mm} = 9.1 \times 10^{-3}$ m

**.19** 2 m خلف المرآة، $M = 1$

**.25** $\theta_2' = 55°$ يكون الشعاع المنعكس من المرآة B موازيًا دائمًا للشعاع الساقط على المرآة A.

**.30** حقيقيَّة ومقلوبة وأمام المرآة.

**.32** لا، $h' > h$ للمرآة المحدّبة.

**.35** تظهر صورة حقيقيَّة على موقع الجسم.

**.40** أ. $M = -0.384$ ؛ حقيقيَّة ومقلوبة
ب. $M = -1.00$ ؛ حقيقيَّة ومقلوبة
ج. $M = 1.67$ ؛ خياليَّةٌ ومعتدلة

**42.** $p = 52.9$ cm ؛ $h = 5.69$ cm ؛ $M = 0.299$ ؛ خياليَّةٌ ومعتدلة

**48.** $R = -31.0$ cm

**50.** $f = -13.7$ cm ؛ $M = 0.0656$ ؛ خياليَّةٌ ومعتدلة

**52.** $M = 20.0$ ؛ حقيقيَّة ومقلوبة، يجب أن تكون المرآة مقعّرة

**55.** أ. 15.0 cm
ب. 59.5 cm
ج. $M_{مقعّر} = 2.00$ ؛ $M_{محدّب} = 0.667$
د. خياليتان
هـ. معتدلتان

## الفصل 6

**تطبيق 6 (أ) ص 149**

**1.** 18.5°

**3.** 1.47 غليسرين.

**تطبيق 6 (ب) ص 157**

**1.** 20.0 cm، $M = -1.00$؛ الصورةُ حقيقيَّةٌ ومقلوبة.

**3.** -6.67 cm؛ $M = 0.3339$؛ الصورةُ خياليَّةٌ ومعتدلة.

**تطبيق 6 (ج) ص 163**

**1.** 42.8°

**3.** 49.8°

**راجع وقيِّم ص 169-173**

**11.** 26°

**13.** 30.0°، 19.5°، 19.5°، 30.0°

**23.** نعم، لأن $n_{هواء} > n_{ثلج}$

**25.** 2.60؛ معتدلة

**35.** 42.8°

**37.** انعكاس كلّي لأن $\theta_i\ (45°) > \theta_c\ (41.1°)$

**39.** 51.9°

**41.** أ. 36.7°
ب. 53.4°

**43.** 8.55 cm

**44.** -80.0 cm

**46.** $1.20 \times 10^2$ cm، 0.250

**48.** 16.5°

**50.** 67°

**52.** $\frac{10}{9} f$

**53.** أ. 40.8°
ب. 60.6°

**56.** 1.38

**58.** 58.0 m

**60.** أ. 4.83 cm
ب. يجبُ تحريكُ العدسةِ مسافة 0.12 cm

**62.** 1.90 cm

## الفصل 7

**راجع وقيِّم ص 186**

**1.** أحمر، أخضر، أزرق. اللون الأبيض

**4.** أ. صباغ أخضر
ب. ضوء أبيض
ج. صباغ أسود
د. ضوء أصفر

**13.** أسود

# المفردات

## أ

**اختلافُ زاويةِ النظرِ** Parallax **ص 16**
اختلافُ القراءاتِ لقياسٍ معينٍ إذا تمَّ النظرُ إليه من زوايا مختلفة.

**الأرقامُ المعنوية** Significant figures **ص 17**
الأرقامُ المؤكدةُ في القياسِ، يضافُ إليها الرقمُ الأولُ التقديريّ غيرُ المؤكد.

**الإجهاد** Stress **ص 41**
القوّةُ المطبَّقةُ على وحدةِ مساحةٍ من مقطعِ سلكٍ.

**الاتزانُ الحراري** Thermal equilibrium **ص 78**
الحالةُ التي يكونُ فيها الجسمانِ المتلاصقانِ فيزيائيًّا على درجةِ الحرارةِ نفسِها.

**الانعكاس** reflection **ص 116**
تغيُّرٌ في اتّجاهِ الانتقالِ لموجةٍ كهرومغنطيسيَّةٍ على سطحٍ، يجعلُها تتحرَّكُ في الاتّجاهِ المقابلِ.

**الانكسار** Refraction **ص 144**
انحرافُ اتِّجاهِ جبهةِ الموجةِ، عند انتقالِ الموجةِ بين وسطَيْن تكونُ فيهما سرعتا انتقالِ الموجةِ مختلفتَيْن.

**الانعكاسُ الكلّيُّ الداخليُّ ص 162**
Total internal reflection
الانعكاسُ الكاملُ الذي يحصُلُ داخلَ مادةٍ، عندَما تزيد زاويةُ سقوطِ الضوءِ على سطحٍ فاصلٍ عن الزاويةِ الحرجةِ.

**الاستقطابُ الخطّيّ** Linear polarization **ص 180**
اصطفافُ الموجاتِ الكهرومغنطيسيّة بحيثُ تكون اهتزازاتُ مجالِها الكهربائيّ متوازية.

**الاستطارة** Scattering **ص 184**
امتصاصُ الضوءِ بوساطةِ جسيماتِ الفضاءِ وإعادةُ إشعاعِه.

## ب

**البُعد** Dimension **ص 10**
قياسٌ يرمزُ إلى كميّةٍ فيزيائيةٍ معيَّنة.

**البلازما** Plasma **ص 34**
حالةٌ من حالاتِ المادَّةِ تتحقّقُ عند درجاتِ حرارةٍ مرتفعة.

## ت

**تجربةٌ ضابطة** Controlled experiment **ص 8**
التجربةُ التي تتضمنُ معالجةَ متغيّرٍ واحدٍ مع ثباتِ باقي العوامل.

**التقريب** Rounding **ص 19**
حذفُ الخاناتِ في قياسٍ وفقَ قواعدَ معينة، بحيثُ يتضمنُ القياسُ عددَ الخاناتِ المعنويةِ المطلوبة.

**التحليلُ البعديّ** Dimensional analysis **ص 22**
استعمالُ الأبعادِ لبناءِ بعضِ المعادلاتِ الفيزيائيةِ البسيطةِ أو للتأكدِ من صحتِها.

**الترابطِ** Bond **ص 36**
قوّةٌ تؤدّي إلى تجاذبِ ذرّاتِ المادَّةِ، ناتجةٌ عن التأثيرِ المتبادَلِ بين الشحناتِ الموجبةِ والسالبةِ عليها.

**تغيرُ الحالة** Phase change **ص 91**
التغيُّرُ الفيزيائيُّ لحالةِ المادة (صلبة، سائلة، غازية)، إلى حالةٍ أخرى عند درجةِ حرارةٍ وضغطٍ ثابتين.

**التشتُّت** Dispersion **ص 165**
عمليَّةُ فصلِ الضوءِ إلى ألوانِه المكوِّنةِ له.

## ج

**الجاسئ** Rigid **ص 39**
الجسمُ الذي يحافظُ على شكلِهِ الثابتِ عند تطبيقِ القوى عليه.

## ح

**الحالة** Phase ص 34

الطورُ الذي فيه المادَّةُ صلبةً أو سائلةً أو غازيَّةً أو بلازما.

**الحرارة** Heat ص 79

الطاقةُ المنتقلةُ بين الأجسامِ نتيجةً للاختلافِ في درجةِ حرارتِها.

**حرارةُ الانصهار** Heat of fusion ص 92

الطاقةُ المتبادَلةُ في وحدةِ الكتلةِ لتحويلِ المادةِ من صلبٍ إلى سائلٍ أو من سائلٍ إلى صلبٍ عند درجةِ حرارةٍ وضغطٍ ثابتين.

**حرارةُ الغليان** Heat of vaporization ص 92

الطاقةُ المتبادلةُ في وحدةِ الكتلةِ لتحويلِ المادةِ من سائلٍ إلى غاز أو من غازٍ إلى سائلٍ عند درجةِ حرارةٍ وضغطٍ ثابتين.

**الحرارةُ الكامنة** Latent heat ص 92

الطاقةُ المتبادلةُ في وحدةِ كتلةٍ أثناء تغيُّرِ حالةِ المادة.

## د

**الدقة** Accuracy ص 15

مدى قربِ القيمةِ المقيسةِ من القيمةِ الحقيقيةِ للكميةِ التي يرادُ قياسُها.

**درجةُ الحرارة** Temperature ص 63

قياسُ متوسطِ الطاقةِ لحركةِ جسيماتِ المادة.

## ر

**رُتبةُ العِظَم** Order of magnitude ص 22

قوةُ الرقمِ 10 الأقربِ إلى القيمةِ العدديةِ الواقعيةِ للكميةِ الفيزيائية.

## ز

**زاويةُ الانعكاس** Angle of reflection ص 117

الزاويةُ بين الشعاعِ المنعكسِ والعمود على السطحِ العاكس عند نقطةِ السقوط.

**زاويةُ السقوط** Angle of incidence ص 117

الزاويةُ بين الشعاعِ الساقطِ والعمود على السطحِ العاكس عند نقطةِ السقوط.

**الزاويةُ الحرجةُ** Critical angle ص 162

زاويةُ السقوطِ في الوسطِ الذي له معاملُ انكسارٍ أكبرُ تقابلُها زاويةُ انكسارٍ $90^\circ$ مع العمود من الوسطِ الذي له معاملُ انكسارٍ أصغرُ.

**الزيغُ اللونيُّ** Chromatic abberration ص 167

تركيزُ الألوانِ الضوئيَّةِ المختلفةِ على مسافاتٍ مختلفةٍ خلفَ العدسةِ.

## س

**السعةُ الحراريةُ النوعية** ص 85

Specific heat capacity

كميةُ الطاقةِ اللازمةِ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1 kg من المادةِ مقدارَ 1°C عند ضغطٍ ثابت.

## ش

**الشدّ** Tension ص 40

القوَّةُ الناشئةُ في جسمٍ يتعرَّضُ لمحاولةِ استطالةٍ أو انضغاطٍ.

## ص

**الصورةُ الخياليَّةُ** Virtual image ص 118

صورةٌ تتكوَّنُ عند نقطةٍ تبدو الأشعَّةُ كأنها منطلقةٌ منها، في حين أنها لا تنطلقُ منها بالفعل.

**الصورةُ الحقيقيَّةُ** Real image ص 123

صورةٌ تتكوَّنُ عندما تتجمَّعُ الأشعةُ الضوئيَّةُ بشكلٍ حقيقيٍّ، في نقطةٍ من نقاطِ الصورةِ.

## ض

**الضبط** Precision ص 15

درجةُ التوافقِ للقياساتِ المختلفةِ لكميَّةٍ معينة.

**الضغط** Pressure ص 57

مقدارُ القوةِ المؤثرةِ عموديًّا في وحدةِ مساحة.

## ط

**الطاقةُ الداخلية** Internal energy **ص 80**

طاقةُ المادةِ الحاصلةُ نتيجةً للحركةِ العشوائيةِ لجزيئاتِها، وهي تساوي مجموعَ طاقةِ هذه الجزيئات.

## ع

**العمليةُ عند حجمٍ ثابت ص 100**

Isovolumetric process

العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي تتمُّ عند حجمٍ ثابتٍ ولا يحصلُ فيها أيُّ تبادلٍ للشغلِ مع النظام.

**العمليةُ الأيزوثرمية ص 101**

Isothermal process

العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي تحصلُ عند درجةِ حرارةٍ ثابتةٍ وتبقى خلالها طاقةُ النظامِ الداخليةُ ثابتة.

**العمليةُ الأديباتية** Adiabatic process **ص 102**

العمليةُ الديناميكيةُ الحراريةُ التي يتمُّ فيها تبادلُ الطاقةِ بين النظامِ والوسطِ المحيطِ به على شكلِ شغلٍ فقط وليس حرارة.

**العدسة** Lens **ص 150**

جسمٌ شفَّافٌ يكسرُ الأشعَّةَ الضوئيَّةَ فيلمّها أو يفرِّقُها ليكوِّنَ صورةً.

## ق

**قوَّةُ دفعِ المائع** Buoyant force **ص 51**

قوةٌ تؤثِّرُ إلى أعلى في جسمٍ مغمورٍ في سائلٍ أو جسمٍ عائمٍ على سطحه.

**قياسُ الحرارة** Calorimetry **ص 86**

طريقةٌ مختبريةٌ تُستعملُ لقياسِ الطاقةِ المتبادلةِ بين جسمٍ وآخرَ على شكلِ حرارة.

## ك

**الكثافةُ الكتليَّة** Mass density **ص 51**

كتلةُ وحدةِ الحجومِ من المادَّة.

## م

**المنهجُ العلميّ** Scientific method **ص 6**

طريقةٌ علميةٌ لمراقبةِ الظواهرِ وفحصِها ووضعِ النظرياتِ حولها.

**المرونة** Elastisity **ص 40**

نسبةُ الاستطالةِ إلى الطولِ الأصليِّ.

**المطاوعةُ النسبيَّة** Strain **ص 42**

نسبةُ الاستطالةِ إلى الطولِ الأصليِّ.

**مُعاملُ يونغ** Straing wings **ص 42**

نسبةُ الإجهادِ إلي المطاوعةِ في مادَّةٍ معيَّنةٍ.

**المائع** Fluid **ص 50**

المادةُ اللاصلبةُ بطبيعتِها، حيث للذرَّاتِ والجزيئاتِ حريةُ الحركةِ والتجاوزِ بعضِها لبعضَ كما في الغازِ أو السائل.

**المائع المثالي** Ideal fluid **ص 64**

المائعُ الذي ليس في داخلِهِ احتكاكٌ أو لزوجة، ولا ينضغط.

**الموجةُ الكهرومغنطيسيَّةُ ص 112**

Electromagnetic wave

موجةٌ مؤلفةٌ من مجالَيْن متعامدَيْن مهتزَّيْن أحدهُما كهربائيٌّ والآخرُ مغناطيسيٌّ، تشعُّ من مصدرٍ معيَّنٍ بسرعةِ الضوءِ.

**المرآةُ الكرويَّةُ المقعَّرةُ ص 122**

Concave spherical mirror

مرآةٌ سطحُها العاكسُ جزءٌ من السطحِ الداخليِّ لكرةٍ.

**المرآةُ الكرويَّةُ المحدَّبةُ ص 130**

Convex spherical mirror

مرآةٌ سطحُها العاكسُ هو السطحُ الخارجيُّ لكرةٍ.

**مُعاملُ انكسارِ الوسطِ ص 146**

Index of refraction

نسبةُ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ إلى سرعتِهِ في وسطٍ شفّافٍ.

## ن

**النظام** System **ص 6**

جزءٌ معينٌ من المجالِ المدروسِ بوساطةِ عمليةِ الملاحظة.

**النموذج** Model **ص 7**

تصوُّرٌ مبسطٌ للنظامِ المدروسِ تظهرُ فيه العواملُ المؤثِّرة.

**النظام الديناميكي الحراري ص 98**

Thermodynamic System

كميةٌ من المادةِ تقعُ ضمنَ حدودٍ واضحةٍ ومعرّفةٍ ولا يمكنُها تجاوزُ هذه الحدود.

## و

**الوسطُ المحيط** Environment **ص 98**

كلُّ شيءٍ يقعُ خارجَ النظامِ ويمكنُهُ أن يؤثرَ في النظامِ أو يتأثرَ به.